

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

*ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES*

***“Rehabilitación y repotenciación de un Autoclave
Eléctrico de esterilización para la Clínica San Agustín.”***

Tesis de Grado previa la
Obtención del Título de
Ingeniero en Electromecánica

AUTORE:

Darwin Eulogio Calva Calva

DIRECTOR:

Ing. Norman Augusto Jiménez León



2009

CERTIFICACIÓN

Ing. Norman Augusto Jiménez León

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación, bajo el tema *“Rehabilitación y repotenciación de un Autoclave Eléctrico de esterilización para la Clínica San Agustín.”* previa a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico, realizado por el Sr. egresado: *Darwin Eulogio Calva Calva*, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 30 Junio del 2009

Ing. Norman Augusto Jiménez León.
DIRECTOR DE TESIS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

La investigación, análisis y conclusiones del presente trabajo de tesis le corresponden exclusivamente al autor y el patrimonio intelectual a la Universidad Nacional de Loja, autorizo al Área de la Energía, las Industrias y Recursos Naturales no Renovables y por ende a la carrera de Ingeniería Electromecánica; hacer uso del presente documento en lo conveniente.

Darwin Eulogio Calva Calva

PENSAMIENTO

Nunca consideres el estudio como una obligación sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravillosos mundo del saber.

Albert Einstein

DEDICATORIA

Con mucha satisfacción les dedico esta meta alcanzada a mis queridos padres: Dora Mercedes Calva y Oscar Eulogio Calva, quienes con su esfuerzo fueron el pilar fundamental para lograr alcanzar este objetivo tan valioso. A mis queridos hermanos William Calva y Elfer Calva quienes siempre me dieron su apoyo incondicional para salir adelante en mi meta propuesta. De manera especial mil gracias a Wilma Estefanía Guerrero Infante y a mis queridos hijos Darwin Elián y Arianita, quienes son parte de mi vida y por quienes me esfuerzo día a día por un mejor futuro.

Gracias a todos Uds. y a ti Dios.

Darwin Eulogio Calva Calva

AGRADECIMIENTO

Alcanzar una meta debe ser el punto de partida para todo hombre que tiene esperanza en el futuro. Cuando se llega a esa meta se debe reconocer el valor de todos aquellos que nos han brindado sus experiencias y conocimiento.

Es grato expresar mis sinceros agradecimientos a la Universidad Nacional de Loja, a la carrera de Ingeniería Electromecánica, a los docentes que de manera desinteresada que aportaron para que durante estos cinco años de estudio se cristalice mi formación académica

Al Ing. Norman Jiménez, por su acertada dirección e invaluable colaboración para la realización de este trabajo

Autor

RESUMEN

En el desarrollo de la industria termo-energética los generadores de vapor (Autoclaves) poseen gran importancia debido al rol que han desempeñado en los sectores productivos del mundo.

Este trabajo de tesis tiene el propósito fundamental de contribuir en el proceso de mejoramiento de servicio múltiple de esterilización; siendo de mucha importancia su correcto funcionamiento para garantizar la protección a sus clientes y empleados. El objetivo propuesto que hoy en día se nos presenta es investigar problemáticas del campo industrial para por medio de esto plantear soluciones que estén enmarcadas en la aplicación de la teoría con la práctica; de tal forma que nos permita incorporarnos a nuestra área profesional, y es precisamente que ahí surge la idea de trabajar en la “Rehabilitación y repotenciación de un Autoclave Eléctrico de esterilización para la Clínica San Agustín”, que contribuye a solucionar el déficit de largas jornadas de trabajo del autoclave en buen estado y la necesidad de rehabilitar los equipos que están fuera de servicio debido a un inadecuado mantenimiento. Además se refleja claramente los cálculos de las pérdidas, eficiencia y calores influyentes en el sistema.

Además de esto se redacta una guía de mantenimiento para una correcta explotación del generador de vapor y de esta forma lograr un mayor rendimiento en el funcionamiento de este equipo, con el fin de lograr una amplia productividad y vida útil.

SUMMARY

In the development of the thermo-energetic industry the steam generators (Autoclaves) have a great importance due to the role that they have carried out inside the productive sectors around the world.

The thesis work hereby has the fundamental purpose of contributing with the process of improvement of a multiple service of sterilization; being of a grand importance its correct operation in order to guarantee the protection of its customers and employees.

The proposed objective that now is presented unto us is to investigate the cluster of problems of the industrial scope so that by means of this to outline solutions that are framed within the application of the theory with the practice; therefore it will allow us to get involved into our professional area, and this is the precise moment in which the idea arises regarding the trend of working in the "Rehabilitation and re-potentiating of an Electric Autoclave of sterilization for the San Agustin Clinic " which will contribute to solve the deficit of the long schedules of work of the autoclave in a good state and the necessity of rehabilitating the equipment that is out of service due to an inadequate maintenance. Besides, the calculations of the losses are clearly reflected, together with the efficiency and influential heats in the system.

A maintenance system is offered for a correct exploitation of the steam generator, and in this way we get to achieve a bigger output in the operation of this equipment, with the purpose of achieving a wide productivity and a longer useful lifespan of it.

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	I
CERTIFICACIÓN	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	III
PENSAMIENTO	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
RESUMEN	VII
SUMMARY	VIII
ÍNDICE GENERAL	IX
INTRODUCCIÓN	13
METODOLOGÍA	14
SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA	17
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	23
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	
1.1 Antecedentes	23
1.2 Problemática	24
1.3 Problema de Investigación	25
1.3.1 Problema general	25
1.3.2 Problemas Específicos	25
1.4 Justificación	25
1.5 Viabilidad	26
1.6 Objetivos de la Investigación	26
1.6.1 Objetivo general	26

1.6.2	Objetivos Específicos.....	26
1.7	Hipótesis de la Investigación.....	27
1.7.1	Hipótesis general.....	27
1.7.2	Hipótesis Específicas.....	27
 CAPITULO II: MARCO TEÓRICO		
2.1.	Introducción	28
2.2.	Concepto de esterilización.....	28
2.3.	Clasificación de la esterilización.....	28
2.3.1.	Esterilización por calor.....	28
2.3.1.1	Esterilización por calor húmedo.....	29
2.3.1.2	Esterilización por calor seco.....	29
2.3.2.	Tindalización.....	30
2.3.3.	Esterilización por aire caliente.....	31
2.3.4.	Esterilización por radiación.....	31
2.3.5.	Esterilización por filtración.....	31
2.3.6.	Esterilización química.....	32
2.4.	Tiempo de esterilización.....	33
2.5.	Calidad de esterilización.....	34
2.6.	Caducidad de Esterilización.....	35
2.7.	Descripción del equipo.....	36
2.7.1.	Datos Técnicos.....	36
2.8.	Autoclave.....	36
2.8.1.	Concepto.....	36
2.8.2.	Componentes de un autoclave básico.....	37
2.8.3.	Proceso básico de la esterilización a vapor en autoclaves.....	38

2.9. Transmisión del calor.....	39
2.10. Parámetros de control de autoclaves en general.....	39
2.11. Factores que afectan la esterilización por autoclave.....	40
2.12. Métodos para comprobar la esterilidad.....	40
2.13. Generadores de vapor.....	41
2.14. Transferencia de calor.....	50
2.14.1. Transmisión de calor por conducción.....	50
2.14.2. Transmisión de calor por convección.....	52
2.14.3. Convección Libre.....	53

CAPITULO III: SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

3.1. Generalidades.....	57
3.2. Cálculos Eléctricos.....	57
3.2.1. Calculo del calibre de los conductores y corriente consumida por los elementos calefactores.....	57
3.3. Determinación de la presión interna de operación del generador de vapor... ..	58
3.4. Calculo del recipiente a presión.....	59
3.4.1. Calculo de la máxima presión de operación para el casco cilíndrico....	59
3.4.2. Calculo de la máxima presión de operación para la cabeza elipsoidal... ..	60
3.4.3. Calculo de la máxima presión de operación para la cabeza circular plana.....	61
3.5. Calculo termodinámico.....	61
3.6. Calculo del aislante para el recipiente a presión y cámara de esterilización.....	64
3.6.1. Calculo del aislante para el recipiente generador de vapor.....	65
3.6.1.1. Casco Cilíndrico.....	65

3.6.1.2.	Cabeza elipsoidal.....	78
3.6.1.3.	Tapa plana.....	86
3.7.	Calculo del calor total que se transfiere a través del recipiente generador de vapor.....	92
3.8.	Aplicación de los sistemas de control del equipo.....	92

CAPITULO IV: VERIFICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO

4.1.	Prueba Eléctrica.....	97
4.2.	Prueba tiempo de esterilización.....	97
4.3.	Pruebas para verificar la temperatura alcanzada en la cámara de esterilización	98

CONCLUSIONES.....	100
--------------------------	------------

RECOMENDACIONES.....	101
-----------------------------	------------

BIBLIOGRAFÍA.....	102
--------------------------	------------

ANEXOS.....	103
--------------------	------------

INTRODUCCIÓN

Desde los albores de la revolución industrial hasta nuestros días, se ha emprendido un impetuoso desarrollo e incluso en el futuro que se vislumbra, el rol que ha jugado el vapor de agua y su generación resulta difícil de valorar en toda su magnitud.

El vapor de agua es la sustancia de trabajo idónea, prácticamente de insustituible valor por las ventajas que ofrece, constituyendo su generación efectiva uno de los aspectos técnicos de más relevancia y complejidad a lo largo de todo este proceso; por lo que la importancia para la economía de cualquier país independiente de su grado de desarrollo es obvio, principalmente si nos referimos al servicio que presta las Autoclaves de la “Clínica Hospital San Agustín” de la ciudad de Loja para la producción de vapor, y de esta manera poder satisfacer la demanda a las diferentes áreas de consumo.

El equipo básico de una instalación para producir vapor y ciertamente el componente más costoso del conjunto, consta de la simple cámara para generar calor, generador, trampas termodinámicas y sus estructuras. A esto hay que agregar válvulas de seguridad, válvulas solenoides y otros accesorios relacionados con las autoclaves, tales como bombas, para la formación de unidades generadoras de vapor de mayor capacidad y más completas.

En la unidad generadora del calor, no basta que cada elemento sea eficiente en lo individual y que esté bien construida. En las condiciones actuales de la economía se necesita obtener, desde un principio, al máximo de seguridad y economía en el servicio del conjunto a un costo mínimo. Este objetivo se logra por medio de un riguroso estudio, para que todos los componentes y accesorios que forman la planta guarden entre si la relación equilibrada.

El incremento continuo para la demanda de energía asociado al desarrollo socioeconómico, las restricciones financieras para ampliar la oferta energética, la necesidad de lograr una mayor competitividad y de atenuar el impacto ambiental de la tecnología energética fundamentan la importancia que tiene hoy en día la utilización de autoclaves eléctricos para reducir los altos costos del combustible.

METODOLOGÍA

Tomando como referencia las matrices construidas en el primer momento de nuestra investigación y siguiéndolas minuciosamente hemos llegado a cumplir con todos y cada uno de los objetivos planteados; a continuación detallamos la metodología que se siguió para cada actividad:

Metodología para alcanzar el Objetivo específico 1

- ✚ Realizamos un inventario minucioso de cada una de las partes y piezas del equipo para determinar su estado actual.
- ✚ Selección de piezas en buen estado para su posterior utilización.
- ✚ Asesoramiento de expertos en equipos venidos de la ciudad de Guayaquil y Cuenca, desde el punto de vista técnico-económico.

Metodología para alcanzar el Objetivo específico 2

- ✚ Realizamos entrevistas a docentes y técnicos tanto de la U.N.L. QUIMI-NET, TECN-MED para tener una idea global y precisa sobre sistemas de control para autoclaves eléctricos.
- ✚ Se revisó diferentes esquemas de control automático de autoclaves como: PELTON CRANE y CONSOLIDATED
- ✚ Vía correo electrónico también se pudo obtener información importante de algunos expertos de la ciudad de Caracas y Madrid de experiencias realizadas en su vida profesional.

Metodología para alcanzar el Objetivo específico 3

- ✚ Se accedió a diferentes portales de internet, revistas y documentos técnicos.
- ✚ Una vez teniendo un conocimiento claro se realizó un diseño acorde a las necesidades del equipo esterilizador en cuanto a su capacidad de generación y procesos de esterilización.
- ✚ Mediante software de simulación se pudo corroborar la efectividad del nuevo diseño.

Metodología para alcanzar el Objetivo específico 4

- ✚ Se indago los sitios donde se venden los accesorios necesarios para la construcción. En nuestro caso fue necesario remitirnos a los siguientes almacenes: Blanco Bio-Electronico, Tel-Med etc.
- ✚ Una vez adquiridos las piezas y partes necesarias se procedió a implementar el sistema de control
- ✚ Se visualizo plenamente la efectividad del sistema en cuanto a resultados obtenidos como tiempos de esterilización, sistema de seguridad y fiabilidad del equipo.

Métodos

Los métodos que estamos utilizando son los Empíricos y Teóricos; con el primero de ellos estudiamos las características fundamentales de procesos de generación de vapor en equipos esterilizadores, es la etapa de acumulación de información (libros, revistas, Internet, etc.), entrevistas, entre otras que nos permitió delinear los referentes teóricos del tema y problema de tesis.

En tanto que con el método teórico interpretamos los datos empíricos encontrados acerca del tema, y de esta manera desarrollar los objetivos planteados en el proyecto de tesis.

Técnicas e instrumentos

Para la ejecución del proyecto de tesis hemos optado por realizar las siguientes actividades:

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	TÉCNICA UTILIZADA
La Inexistencia de una hoja de informes sobre estado, control y mantenimiento de la autoclave.	Entrevista con docentes, personas y empresas vinculadas a este campo
	Investigación bibliográfica en libros, revistas afiches e Internet

<p>La inexistencia de esquemas originales del equipo que señalen su orden y sistema funcional.</p>	<p>Remitirse a catálogos referentes maquinas que trabajan con vapor especialmente</p> <p>Observaciones, sean estas fotografías, grabaciones que existan sobre estos equipos</p>
<p>El estado actual del sistema de accionamiento y control de la autoclave es obsoleto.</p>	<p>Con la técnica de la observación se analizarán el equipo en su totalidad</p> <p>Mediante la utilización de una hoja de datos se procesara y se sistematizara esta información</p>
<p>Limitado stock de accesorios para la implementación del sistema de recuperación de la autoclave en nuestra ciudad, acudiendo a otras plazas nacionales</p>	<p>Se consultará a empresas de venta y distribución de equipos eléctricos y mecánicos</p>

SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

Generalidades

En referencia al problema planteado y luego de realizar un análisis de costo-beneficios, se presentan varias alternativas a ser evaluadas para garantizar el buen funcionamiento y operatividad del equipo ya antes mencionado propiedad de la Clínica Hospital San Agustín.

Estas alternativas están enfocadas principalmente hacia áreas como rediseño de la estructura para mejorar las condiciones de trabajo, automatización del proceso de esterilización en general y modificación del sistema de alimentación de agua.

Condición inicial del equipo

Al realizar la revisión del equipo observamos que, existen deficiencias en cuanto al sistema de alimentación de agua, ya que el recipiente que genera el vapor, opera a presiones considerables (1,6 - 2,3) psi, lo cual hace necesario que el agua sea inyectada a presiones mayores a la de operación, para así poder garantizar el constante suministro del fluido de trabajo a la parte interna de dicho recipiente. Se detectó que los recipientes que cumplían la función de intercambiadores de calor y economizadores estaban en mal estado, ya que al realizar una prueba hidrostática, estos dieron evidencia de obstrucción y posible deterioro de sus tubos internos.

Existen deficiencias también en cuanto a la comodidad para operar el equipo, ya que es muy bajo para hacer la carga y descarga del material a esterilizar, lo cual puede traer como consecuencia lesiones en la espalda para el o los operarios que hagan uso del equipo, se ofrece además una pobre información para el operario, lo que impide que esté al tanto de parámetros como tiempo de esterilización, temperatura en la parte interna de la cámara, señales visuales (luces), o sonoras (alarmas) que indiquen el inicio o fin del proceso de esterilización.

Se encontraron también deficiencias en cuanto a los sistemas de seguridad, como por ejemplo el mal funcionamiento del sistema que indica que la puerta de la cámara de esterilización está correcta o incorrectamente cerrada, un sistema que proteja el banco de resistencias al bajar demasiado el nivel del agua, controles de presión para activarse

SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

cuando se sobrepasen las presiones de operación en el generador de vapor y en la cámara de esterilización, evitando así la falla mecánica de estos recipientes a presión.

Se pudo observar también la falta de dispositivos que protejan el sistema eléctrico de sobrecargas de voltaje o corriente en la fuente de alimentación, así como también la falta de identificación en las tuberías que conducen agua, vapor de agua, drenaje, etc., en las adyacencias al sitio en el que opera el equipo.

En el banco de resistencias está sobredimensionado con respecto a su potencia nominal, también se observaron incrustaciones de sales, las cuales disminuyen considerablemente la eficiencia en la transferencia de calor entre estas y el fluido de trabajo para provocar el cambio de fase de líquido a vapor.

Cabe destacar que se encontró el equipo en un estado de deterioro en general, lo que ameritó también la planificación de un proceso de desensamblaje y evaluación exhaustiva, con el fin de determinar que partes podrían ser sometidas a un proceso de mantenimiento correctivo para su posterior uso y qué partes era posible excluir del proceso en general sin alterar en gran medida su correcto funcionamiento.

Método de selección de la alternativa

En este capítulo se plantearán las diferentes alternativas que den solución al problema propuesto en este proyecto; para ello se tomará en cuenta una serie de factores evaluadores que según su importancia se listan en la tabla 3.1. El método de selección que se empleará consiste en asignar una nota (Calificación 1 - 5) a cada una de las alternativas evaluadas, esto para cada factor evaluador; entendiéndose que a mayor calificación, mayor conveniencia tiene la alternativa para el diseño. Los productos entre la calificación y la ponderación se totalizan y esto determinará la mejor alternativa viable.

La ecuación que describe el método planteado es la siguiente:

$$Definitiva = \sum_{i=1}^n (Ponderación \times Calificación)$$

Donde n, representa el número total de factores evaluados.

SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

Tabla 3.1 factores evaluados

Factor evaluador	Ponderación
Factibilidad técnica	4
Costo	3
Disponibilidad en el mercado	2
Facilidad de mantenimiento	1

Los componentes sobre los cuales se evaluarán las diferentes alternativas serán:

- ✚ Sistema de alimentación de agua para el generador de vapor.
- ✚ Características de los controles a usar.
- ✚ Disposición del banco de resistencias dentro del generador de vapor.

Sistema de alimentación de agua para el generador de vapor

Se debe tomar en cuenta la opción más adecuada que garantice un suministro continuo de agua al recipiente para generar vapor a través de los elementos calefactores.

- ✚ Alimentación directa desde la red de agua pública: es una forma económica y sencilla para suministrar agua al generador de vapor aunque no muy práctica y segura ya que se puede tener la limitante de posibles fallas o interrupciones en el suministro de agua lo que impediría poner en marcha el autoclave
- ✚ Alimentación por medio de un sistema de bombeo: es una forma más segura de garantizar un suministro continuo de agua al generador de vapor sin importar si se presentan o no interrupciones en la red de agua pública, ya que el sistema de bombeo contará con un tanque de almacenamiento de agua con la capacidad suficiente para su correcto funcionamiento durante un período de tiempo considerable.

La valoración de las alternativas se realiza por medio de la siguiente tabla:

Tabla 3.2 Selección del sistema de alimentación de agua

SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

Alternativa	Factibilidad técnica (4)		Costos (3)		Disponibilidad en el mercado (2)		Facilidad de mantenimiento (1)		definitiva
	nota	producto	nota	producto	nota	producto	Nota	producto	
A	2	8	4	12	4	8	2	2	30
B	5	20	2	6	4	8	2	2	36

Por lo tanto la alternativa seleccionada es la opción **B**.

Disposición del banco de resistencias

En este caso se evaluarán dos alternativas.

- ✚ Disposición horizontal: Con esta disposición se logra un calentamiento asimétrico de la masa de agua contenida en el generador de vapor, lo que ocasiona que no se aproveche al máximo la potencia disipada por los elementos calefactores, sin embargo, es necesario resaltar que originalmente el equipo cuenta con un banco de resistencias de este tipo y su respectivo recipiente a presión. Ambos elementos se encuentran en buenas condiciones haciendo posible su reutilización.
- ✚ Disposición vertical: Con esta disposición se logra un calentamiento simétrico de la masa de agua contenida en el generador de vapor, lo que ocasiona que se aproveche al máximo la potencia disipada por los elementos calefactores, sin embargo, la selección de esta alternativa amerita la inversión de una considerable cantidad de dinero para la construcción de un nuevo recipiente a presión de acero inoxidable, así como también la adquisición de un nuevo banco de resistencias lo que viene a representar un aumento considerable en el costo de este proyecto.

Tabla 3.3 Selección disposición de banco de resistencias

Alternativa	Factibilidad técnica (4)		Costos (3)		Disponibilidad en el mercado (2)		Facilidad de mantenimiento (1)		definitiva
	nota	producto	nota	producto	nota	producto	nota	producto	
A	4	16	4	12	4	8	2	2	38
B	2	8	2	6	4	8	3	3	25

Por lo tanto la alternativa seleccionada es la opción **A**.

Selección de los sistemas de control del equipo

Las variables que se desean controlar para este proceso serán: la presión y temperatura de la mezcla líquido-vapor contenida en el recipiente generador de vapor, el nivel de líquido dentro del cuerpo del generador de vapor, y el tiempo para el proceso de esterilización. Así como también la apertura y el cierre de las válvulas que controlan el paso de vapor de agua del generador de vapor hacia la cámara de esterilización, y también la salida de este vapor una vez concluido el proceso.

Control de la presión y temperatura de la mezcla líquido-vapor

Debido a las condiciones del fluido contenido en el interior del recipiente (agua), las variables de presión y temperatura son dependientes entre si, por lo cual se seleccionará un sistema de control solo para una de ellas.

- ✚ Control de temperatura (Termostato): la temperatura es una de las variables físicas más difíciles de medir con exactitud, se requiere de sistemas costosos para poder realizar una buena toma de las temperaturas y en la mayoría de los casos dispositivos electrónicos.
- ✚ Control de presión (Presostato): la presión se puede medir y controlar con dispositivos electromecánicos, cuyo manejo es relativamente fácil, sin embargo, el uso de presostatos especiales para vapor implica un costo adicional.

Tabla 3.4 Selección del sistema de control de temperatura y presión.

Alternativa	Factibilidad técnica (4)		Costos (3)		Disponibilidad en el mercado (2)		Facilidad de mantenimiento (1)		definitiva
	nota	producto	nota	producto	nota	producto	nota	producto	
A	2	8	3	9	3	6	2	2	25
B	4	16	4	12	3	6	2	2	36

Por lo tanto la alternativa seleccionada es la opción **B**.

Características de los controladores a emplear

En este caso se evaluarán dos alternativas:

SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

- ✚ Contactores (Lógica cableada): es una de las forma de control más usadas debido a su versatilidad y fácil instalación, son costosos, pero más económicos que otros sistemas que realizan funciones similares.
- ✚ P.L.C (Controlador lógico programable): es uno de los sistemas de control más avanzado que existe en el mercado, su empleo es un tanto complejo, tiene excelentes respuestas a las exigencias de la operación que se pretenda controlar, debido a que se puede programar una rutina de control sobre las variables del proceso; pero su adquisición se dificulta debido a que posee un costo muy elevado comparado con el de los contactores.

Tabla 3.5 selección de la característica de los controladores a emplear:

Alternativa	Factibilidad técnica (4)		Costos (3)		Disponibilidad en el mercado (2)		Facilidad de mantenimiento (1)		definitiva
	nota	producto	nota	producto	nota	producto	nota	producto	
A	4	16	3	9	4	8	3	3	36
B	5	20	2	6	3	6	2	2	34

Por lo tanto la alternativa seleccionada es la opción **A**.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes

La clínica San Agustín es una entidad que ofrece servicios de atención médica desde el año 1972, este servicio es de orden particular y considerado en nuestra localidad de buena calidad. Por esta razón los representantes de esta institución optan por la adquisición de equipos modernos para asegurar los procesos que incluyen la atención a sus clientes. Dentro de estos equipos tenemos: Maquinas quirúrgicas, esterilizadoras, extractoras de olor, cámaras de ambientación, entre otras.

La clínica adquirió hace 15 años, dos equipos esterilizadores (Autoclaves) destinados al servicio múltiple de esterilización, esto quiere decir, la esterilización de varios tipos de accesorios como: Ropa quirúrgica, equipo médico, prendas de descanso, entre otros. Estos equipos son del orden eléctrico con mando eléctrico dimensionados a la necesidad de la clínica, siendo de mucha importancia su correcto funcionamiento para evitar así cualquier contratiempo. Las autoclaves son equipos considerados de gran vitalidad en instituciones de salud debido a que garantizan la protección a sus clientes y empleados, evitando así infecciones causadas por la ausencia de asepsia en prendas y equipos de uso continuo. Además por su sistema de funcionamiento garantizan un calentamiento y penetración rápida a las fibras textiles destruyendo de manera eficaz las esporas bacteriales más resistentes en un intervalo de tiempo muy corto, resultando de esta manera un proceso económico y eficiente.

Estas máquinas realizan su proceso de esterilización a través de la inyección de vapor a una temperatura mínima de 121°C y a una presión promedio de 45 psi, en una cámara especial y adaptada para este tipo de condiciones en la cual además se introduce los elementos a esterilizar, previamente preparados.

Actualmente un equipo de esterilizado o autoclave se encuentra en stand-by, debido a problemas de funcionamiento producidos por factores de mantenimiento y mal uso. Asunto principal de este tema de investigación

1.2 Problemática

Como se menciono anteriormente, una autoclave de los adquiridos por la clínica, se encuentra fuera de servicio. El motivo de este suceso se debe a los siguientes aspectos:

- Manejo inadecuado de el equipo.- Al parecer está maquina fue sometida a grandes cargas por ser la más grande de las dos existentes, generando así un sobre esfuerzo debido a las largas jornadas de trabajo y sobrecargas.
- Mal servicio de mantenimiento.- Cuando la autoclave presentaba problemas en su funcionamiento, el personal de mantenimiento propio de la clínica, optaba por la contratación de personal externo para realizar la reparación, asunto que generó la primera parada del equipo debido a que, el técnico que realizó el mantenimiento no estaba correctamente asesorado y sus conocimientos sobre este tipo de máquinas era limitado. Generando así la contratación de personal de la ciudad de Cuenca para rehabilitar el autoclave.
- Descuido del personal encargado.- Esta es la última causa de la parada del equipo, ya que el descuido del mismo género que se extravíen partes funcionales, corrosión prematura de partes y accesorios debido a las malas condiciones y por último, debido al mantenimiento inadecuado se produjo el recambio de partes y en caso de no haberlas la adaptación de las mismas, que no resultaron adecuadas creando así un funcionamiento limitado e ineficiente que conllevo a la parada total del mismo.

Por lo mencionado anteriormente, se puede concluir que la capacidad de esterilización de prendas e instrumentos del equipo de autoclaves de la clínica se redujo a la mitad, debido a la parada de un equipo. Haciéndose indispensable la rehabilitación del equipo en mal estado y garantizar así un servicio adecuado

Problemática:

“Limitada capacidad de esterilización de instrumentos y equipo médico lo que produce largas jornadas de trabajo del autoclave en buen estado y la necesidad de rehabilitar la segunda autoclave (fuera de servicio).

1.3 Problema de Investigación

1.3.1 Problema general

“El deteriorado estado del autoclave debido a la mala operación e inadecuado mantenimiento del mismo.”

1.3.2 Problemas Específicos

- La Inexistencia de una hoja de informes sobre estado, control y mantenimiento de la autoclave.
- La inexistencia de esquemas originales del equipo que señalen su orden y sistema funcional.
- El estado actual del sistema de accionamiento y control de la autoclave es obsoleto.
- Limitado stock de accesorios para la implementación del sistema de recuperación de la autoclave en nuestra ciudad, acudiendo a otras plazas nacionales

1.4 Justificación

Uno de los principales retos que hoy en día se nos presenta es investigar problemáticas del campo industrial para por medio de esto plantear soluciones que estén enmarcadas en la aplicación de la teoría; de tal forma que nos permita incorporarnos a nuestra área profesional, y es precisamente que ahí surge la idea de trabajar en la “Rehabilitación y repotenciación de un Autoclave Eléctrico de esterilización para la Clínica San Agustín”, que contribuye a solucionar el déficit de largas jornadas de trabajo del autoclave en buen estado y la necesidad de rehabilitar los equipos que están fuera de servicio debido a un inadecuado mantenimiento.

Con la rehabilitación y repotenciación del equipo esterilizador, se garantizan la protección a sus clientes y empleados, evitando así infecciones causadas por la ausencia de asepsia en prendas y equipos de uso continuo. Además por su sistema de funcionamiento garantizan un calentamiento y penetración rápida a las fibras textiles destruyendo de manera eficaz las esporas bacteriales más resistentes en un

intervalo de tiempo muy corto, resultando de esta manera un proceso económico y eficiente

1.5 Viabilidad

Este proyecto de tesis es de considerable importancia dentro de nuestro campo profesional y de estudio; contamos con el apoyo de las autoridades de la carrera de Ing. Electromecánica, además de docentes y personas conocedores de la materia. Los recursos económicos serán fondos propios de la institución a la que pertenece el equipo esterilizador; proyectamos hacer un equipo que sea un quipo eficaz para un mejor servicio.

En lo que respecta a la disponibilidad de bibliografía se cuenta con una buena información, es sugestivo y de actualidad tecnológica y permite la correlación de teoría-practica, tanto en estudiantes como en docentes que lo utilicen; el tiempo es suficiente para desarrollar el proyecto y además permite adentrarnos en el campo profesional de nuestra carrera y en el área de influencia de la Universidad Nacional de Loja. Por todo esto se considera viable este tema de tesis.

1.6 Objetivos de la Investigación

1.6.1 Objetivo general

Rehabilitar y repotenciar la autoclave fuera de servicio, para garantizar el proceso de esterilización en la clínica San Agustín.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Determinar las partes defectuosas y el estado funcional de la autoclave.
- Rediseñar el sistema de funcionamiento de la autoclave considerando todas las funciones originales del equipo.
- Diseñar un nuevo sistema de control y mando (semiautomático) para la autoclave.
- Implementar el nuevo sistema diseñado, asegurando el correcto funcionamiento de la autoclave.

1.7 Hipótesis de la Investigación

1.7.1 Hipótesis general

La rehabilitación y repotenciación de la autoclave en mal estado, mediante la tecnología existente en nuestro medio, permitirá mejorar los procesos de esterilización en la clínica San Agustín.

1.7.2 Hipótesis Específicas

- El análisis técnico de los diversos procesos funcionales de la autoclave permitirá determinar las partes defectuosas y la razón del deterioro.
- El rediseño eficaz de la autoclave permitirá plantear una alternativa de recuperación del equipo que garantice su correcto funcionamiento.
- El diseño de un nuevo sistema de accionamiento y control de los procesos de la autoclave, mejorara el funcionamiento de los procesos de trabajo del mismo.
- La implementación de un nuevo sistema operacional para la autoclave permitirá el funcionamiento del equipo con todas sus funciones originales.

DECLARACIÓN TEÓRICA

2.1 Introducción

En la actualidad más del 90% de los hospitales en nuestro país utilizan máquinas generadoras de vapor como calderas o autoclaves. Pero a veces no son dimensionadas y diseñadas tomando en cuenta los requerimientos de vapor de cada instalación, así como de las normas técnicas y procedimientos necesarios para su diseño, dimensionamiento y selección.

En la clínica San Agustín de la ciudad de Loja, actualmente cuenta con dos autoclaves eléctricas en el área de esterilización el cual realiza los siguientes procesos.

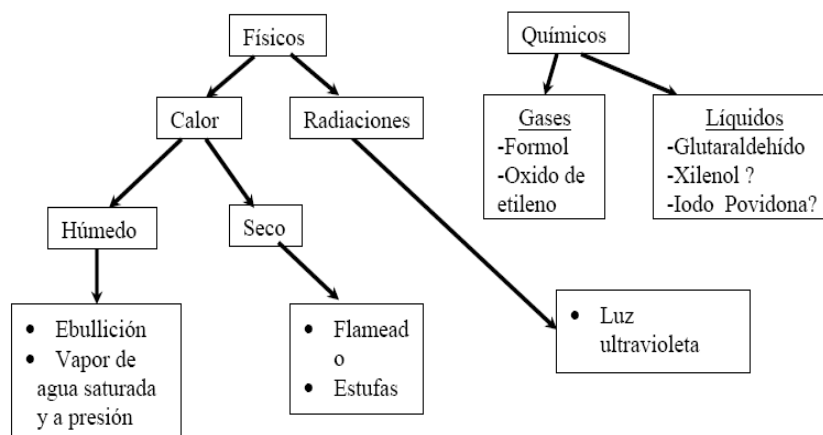
- Esterilización instrumental
- Esterilización ropa quirúrgica

2.2 Concepto de esterilización

La esterilización es la destrucción o eliminación de cualesquier forma de vida, vegetal o animal de tipo macroscópico y microscópico, sean los organismos nocivos o inocuos. Pueden llevar a cabo por calor o sustancias químicas

2.3 Clasificación de la esterilización

Los métodos de esterilización los podemos clasificar en:



2.3.1. Esterilización por calor

Este método de esterilización es más corriente para medios de cultivo, alimentos, material de hospitales y otras sustancias. Puede emplearse el calor húmedo (vapor de agua) o el calor seco, dependiendo de la

naturaleza de la sustancia a esterilizar. El calor húmedo se usa también en la pasteurización, que no es considerada una técnica verdadera de esterilización porque solo destruye ciertos organismos patógenos y otras bacterias indeseables.

2.3.1.1. Esterilización por calor húmedo

Algunas endosporas bacterianas son capaces de sobrevivir varias horas a 100 °C. Por tanto para la esterilización con calor húmedo se requiere una autoclave o hervidor a presión, con vapor a presión, para alcanzar temperaturas más elevadas. La mayoría de los medios de cultivo son esterilizados en autoclave a 121 °C ya 1 atm de presión, durante 20 minutos o más, dependiendo del volumen de material que se calienta. Algunas esporas pueden resistir 7 minutos a 121 °C. En algunas ocasiones se emplea el vapor a presión atmosférica en un esterilizador Arnold para medios bacteriológicos especiales que son fácilmente 10 dañados por el calor. A causa de que muchas esporas bacterianas sobreviven a este tratamiento, no es adecuado para asegurar la esterilidad.

2.3.1.2. Esterilización por calor seco

Requiere una fuente segura de electricidad y se puede emplear únicamente para esterilizar objetos de vidrio y metal. En función de su baja eficiencia y alto índice de deterioro del material, ha sido prácticamente dejado de lado. El mecanismo de acción: depende del calentamiento por contigüidad de los objetos y consisten en desnaturalización protéica, lesiones por oxidación y efectos tóxicos por niveles elevados de electrolitos. Es menos eficiente que el calor húmedo ya que la propia desecación provoca un aumento de la resistencia bacteriana, pues normalmente el agua interactúa con las moléculas microbianas desestabilizándolas. El equipo consiste de: cámara aislada, que evite pérdida de calor, estantería metálica perforada, que permite

la esterilización del aire caliente, calentador eléctrico controlado por un termostato ajustable independiente. Distribución pareja de temperatura lograda por la circulación de aire forzado por un ventilador. La puerta debe tener un bastón automático para evitar que se abra durante los ciclos. Los instrumentos deben ser empaquetados en dimensiones pequeñas para permitir una buena distribución de calor, dejando un espacio entre cada instrumento para la buena circulación de calor. Los ciclos recomendados son 180 °C por 50 minutos o 170 °C por 60 minutos o 160 °C por 15 minutos; lo que impulsa un alto consumo energético. Sin embargo, para objetos de plástico, corcho y textiles, estas temperaturas son relativamente altas y están contraindicadas. Este método puede que no sea el mejor si existen fallas de electricidad a menudo, ya que sería necesario volver a tratar los objetos en caso de que se interrumpa el proceso de esterilización. Además, se tendrá que asegurar la existencia de otro método para los objetos plásticos y de otros materiales, los cuales no se puedan tratar usando el vapor seco.

2.3.2. Tindalización

El alimento o medio es sometido durante unos minutos a presión atmosférica, en tres o cuatro ocasiones sucesivas, separadas por intervalos de incubación de 12-18 horas, a una temperatura de desarrollo favorable. En teoría los periodos de incubación permiten germinar a cualquier espora bacteriana sobreviviente, dando lugar a células vegetativas más sensibles al calor que serán destruidas en el siguiente tratamiento. Sin embargo las esporas, al igual que las células vegetativas, pueden necesitar condiciones especiales, tales como un medio apropiado o una tensión de oxígeno o temperatura idónea, para germinar y reproducirse. Es posible que estas condiciones no se cumplan durante los intervalos entre los tratamientos de calor, y por muchas veces que el tratamiento se repita, las esporas sin germinar puede sobrevivir y finalmente germinar cuando las condiciones sean diferentes. La supervivencia de esporas sin germinar reduce la eficacia de este método, el cual ha sido sustituido por otro.

2.3.3. Esterilización por aire caliente

El material de vidrio y otros materiales resistentes al calor, que necesitan estar secos después del tratamiento, se esterilizan por lo común en un esterilizador de aire caliente. La esterilización seca requiere calentamiento a más altas temperaturas y por más largos periodos que los requeridos por la esterilización de vapor a presión, generalmente se emplea en la esterilización por aire caliente una temperatura de 160- 165°C, durante un mínimo de 2 horas. El calor seco destruye los gérmenes por la desnaturalización de las proteínas, que pueden implicar un proceso de oxidación.

2.3.4. Esterilización por radiación

Muchas clases de radiación son letales, no solamente para los microorganismos, sino para otras formas de vida. Estas radiaciones incluyen partículas de alta energía, así como ciertas zonas del espectro electromagnético. El mecanismo de acción letal de estas radiaciones no está enteramente aclarado. Puede implicar una absorción directa de energía en alguna parte vital de célula (efecto indirecto). Las endosporas bacterianas son relativamente resistentes a todos los tipos de radiación. En esta esterilización los tres tipos de radiación empleadas son: la radiación ultravioleta, los rayos gamma y los rayos catódicos.

2.3.5. Esterilización por filtración

Es la separación física de los microorganismos de los líquidos por filtración a través de materiales con poros relativamente pequeños. La esterilización por filtración se emplea con líquidos que pueden ser destruidos por el calor, tales como suero sanguíneo, soluciones de encimas, antibióticos y algunos medios de cultivo y constituyentes de los mismos. Ejemplos de tales filtros son el Berkefeld (tierra de infusorios), la bujía de pasteur chamberland (porcelana), el filtro de zeitz (almohadilla de amianto) y el filtro de vidrio sinterizado. La mayoría de estos filtros se fabrican de diferentes tamaños de poros.

El tamaño medio del poro de los filtros bacteriológicos no es el único determinante de su eficacia. La carga eléctrica de las superficies de los poros tiende a absorber las bacterias, evitando así su paso. La mayoría de las bacterias tienen una carga eléctrica netamente negativa en las superficies, corrientemente los filtros bacteriológicos permitirán el paso de los virus, que por esta razón son llamados filtrables.

Un filtro mili poro es una membrana especialmente preparada para la eliminación de bacterias del agua, aire y otros materiales, con el propósito de estudiar cuantitativamente la población bacteriana. Un filtro estéril discoidal se monta en una unidad de filtración, y se pasa a través del mismo un volumen de agua o solución. El disco discoidal que ha retenido las bacterias se quita y se coloca en una caja de petri, que contiene un tejido absorbente previamente saturado con un medio bacteriológico adecuado. Al incubarse se desarrollan colonias en el filtro discoidal, en los puntos en que las bacterias hayan quedado retenidas al filtrar. Pueden emplearse medios diferenciales o selectivos para conocer cuantitativamente los medios específicos de bacterias del material original.

2.3.6. Esterilización química

Se usan sustancias químicas para esterilizar soluciones, aire o superficies de sólidos. Tales productos químicos son llamados sustancias bacterianas. En concentraciones bajas se convierten más bien en bacteriostáticas que en bacteriosidas, es decir, impiden el crecimiento de las bacterias, pero no pueden matarlas. Se emplean también otros términos que tienen el mismo significado. Un desinfectante es un producto químico que destruye las células vegetativas de microorganismos patógenos, pero no necesariamente las endosporas de los agentes patógenos esporíngenos. Un antiséptico es una sustancia química que se aplica a un tejido vivo para prevenir o retardar el crecimiento de microorganismos, especialmente bacterias patógenas, pero que no los destruye necesariamente. La muerte de los microorganismos expuestos a sustancias bactericidas se pueden expresar exponencialmente, pues se tiene una recta cuando se registra en un gráfico el logaritmo del

Capítulo II MARCO TEÓRICO

superviviente en relación con el tiempo. Cuando más concentrado es el producto químico empleado, tanto mayor es la proporción de mortalidad.

Hay cientos de sustancias químicas que pueden considerarse con propiedades esterilizantes o bactererícidas, según el uso específico a que se destinen. Una puede ser muy útil para un propósito pero no para otro. Muchas son ampliamente usadas para esterilización o desinfección de aire, agua, mesas o instrumental quirúrgico.

Las propiedades que debe reunir un esterilizador químico son: toxicidad para los microorganismos, pero no para el hombre y los animales; estabilidad, solubilidad, incapacidad de reacción con materiales orgánicos extraños, capacidad de penetración, capacidad de detergente, no ser corrosivo y con un mínimo de efecto colorante, raramente una sustancia química reúne todas las propiedades deseables. Entre los agentes químicos que han resultado más útiles como materiales esterilizantes están los fenoles, alcoholes, compuestos de cloro, yodo, metales pesados y sus complejos colorantes y detergentes sintéticos, incluyendo los compuestos de amonio cuaternario, el ozono (O₃), el peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y los compuestos orgánicos volátiles

2.4 Tiempo de esterilización

Del tiempo, temperatura y presión usadas en la esterilización depende el éxito alcanzado. Generalmente los datos presión y temperatura son fijados, y el único factor que se varía es el tiempo. Los materiales necesitan diferentes tiempos de esterilización dependiendo de su textura, porosidad, y otras características propias de cada material. Algunos materiales como el hule, necesitan poco tiempo, mientras otros como el metal quirúrgico necesitan más.

A continuación se presentan los tiempos mínimos de exposición de las cargas trabajando en autoclaves de vapor a una presión de 21 PSI (121 C, 250 F).

CARGA	TIEMPO
Guantes de Caucho (Hule)	15 minutos

Capítulo II MARCO TEÓRICO

Sondas (base tejida)	15 minutos
Sondas (látex)	15 minutos
Frascos de Vidrio, Cristalería en General.	20 minutos
Agua en frascos	20 minutos
Jeringas de Vidrio	20 minutos
Bandeja	30 minutos
Equipo de transfusión	30 minutos
Paquetes de maternidad	30 minutos
Ropa	30 minutos
Torundas	30 minutos
Paquete quirúrgico	45 minutos
Instrumental de acero inoxidable	45 minutos

Tiempos mínimos de exposición al proceso de esterilizado en autoclave a 120-123°C.

Cepillos de lavado.....	30'
Cristalería.....	15'
Instrumentos metálicos.....	15'
Paños tamaño 10x10x30cm.....	20'
Paños, camisolín, toallas, en paq. de 20x 30x 40 cm.....	30'

Vida útil de los paquetes esterilizados.

Doble envolt. de bolsas de papel.... 3 semanas

Doble envoltorio de Muselina.....4 semanas

Doble envoltorio de Musel. Doble...6 semanas

Bolsa de plástico termo sellada..... 1 año

2.5 Calidad de esterilización

Debido a que el material a esterilizar es muy probablemente de uso sensible, se requiere de métodos de testificación de la calidad de dicha esterilización, esto quiere

Capítulo II MARCO TEÓRICO

decir que la presión y temperatura aplicadas serán distintas para cada uno de los productos esterilizados.

Las autoclaves suelen estar provistas de fábrica de medidores de presión y temperatura, que permiten verificar el funcionamiento del aparato. Aunque en el mercado existen métodos testigo anexos, por ejemplo, testigos químicos que cambian de color cuando cierta temperatura es alcanzada, o bien testigos mecánicos que se deforman ante las altas temperaturas. Por este medio es posible esterilizar todo tipo de materiales a excepción de materiales volátiles, pero se debe tener gran precaución ya que debido a que este es un material que trabaja a presión puede provocar graves daños e incluso pérdida de la vida.

- ✚ Indicadores químicos: Tiras de papel con un reactivo que vira de color al alcanzar una temperatura determinada.
- ✚ Indicadores biológicos: Tiras de papel con un número predeterminado de esporas bacterianas no patógenas que crecen al ser cultivadas cuando han sido sometidas a un proceso de esterilización fallido.

2.6 Caducidad de Esterilización

El tiempo de caducidad no tiene relación con el proceso de esterilización a que haya sido sometido el producto, sino que depende directamente del envoltorio. Los tiempos de caducidad del material estéril son los siguientes:

- Empaquetado en textil y papel con cinta adhesiva 3 meses
- Contenedores de instrumental con protección del filtro 6 meses
- En bolsa de papel o mixta termosellada 6 meses
- En doble bolsa termosellada 12 meses
- Empaquetado en papel Tyvek 12 meses

2.7 Descripción del equipo

2.7.1 Datos Técnicos

Medidas exteriores:	Ancho	77 cm
	Altura	165 cm
	Profundidad	107 cm

Espacio útil:

Contenido	200 lts
Ancho	51 cm
Altura	51 cm
Profundidad	96,5 cm

Material del compartimiento útil:	Acero resistente a corrosión y ácidos
Tipo de cierre:	Cierre hermético
Generador del vapor:	Contenido 15 lts Material laminado de cobre
Potencia	15 KVA
Conexión eléctrica:	220V; 60 Hz
Clase de protección:	I
Grado de protección:	IP 20
Masa:	Aproximadamente 450 Kg
Método de esterilización:	Esterilización usando vapor de agua
Temperatura de esterilización:	121°C ó 134 °C
Mando, regulación de presión	Semiautomática
Temperatura:	131 °C
Recomendación para la esterilización:	25 minutos con 121 °C 10 minutos con 134 °C
Tiempo de secado:	10 minutos

2.8 Autoclave

2.8.1 Concepto

Es un recipiente de cierre hermético capaz de resistir presiones superiores a la atmosférica, con esta denominación se indican los aparatos sujetos a presión interior en los cuales se desarrolla una operación física o química entre determinadas sustancias.

Las condiciones pueden alcanzarse por la calefacción de líquidos, de mezclas líquido-gas, por la introducción de gas a presión, o bien como consecuencia de reacciones químicas

2.8.2 Componentes de un autoclave básico

Un esterilizador a vapor tiene los siguientes componentes principales:

- 1.- Recipiente de alta presión con tapa junta: El envase o recipiente sólido donde el agua se calentará en los equipos de vapor bajo presión se llama **generador de vapor**. El espacio donde se colocan los objetos a ser esterilizados se llama **cámara esterilizadora**. Para evitar escapes entre el recipiente y la tapa el esterilizador cuenta con una junta entre ambos. Además tiene un **mecanismo de cerradura** con tornillos, o caso contrario, un sistema tipo bayoneta compuesta de autoclaves pequeñas y portátiles.
- 2.- Válvula de control de presión: La válvula de control de presión se encuentra sobre la base para mantener el nivel de vapor deseado. De ser necesario, este permitirá el escape de cierta cantidad de vapor. En las unidades modernas este instrumento es un **sensor de presión** para el vapor y un **sensor de temperatura** para el calor.
- 3.- Válvula de seguridad: Es útil cuando existe la posibilidad que la válvula de control no funcione bien. Si ello ocurre, no habrá escape del vapor y este podría subir tanto que podría explotar. En ese caso, la válvula de seguridad permitirá el escape del vapor. En algunos países esta **válvula de seguridad** es obligatoria por ley.
- 4.- Mecanismo de expulsión del aire: Llamado también *el purgador*. Las autoclaves modernas están equipadas con un sistema de expulsión de aire que opera mediante una pieza **o fuelle** relleno con una mezcla de agua y alcohol.

En el siguiente diagrama se puede apreciar un modelo de autoclave con sus respectivas partes:

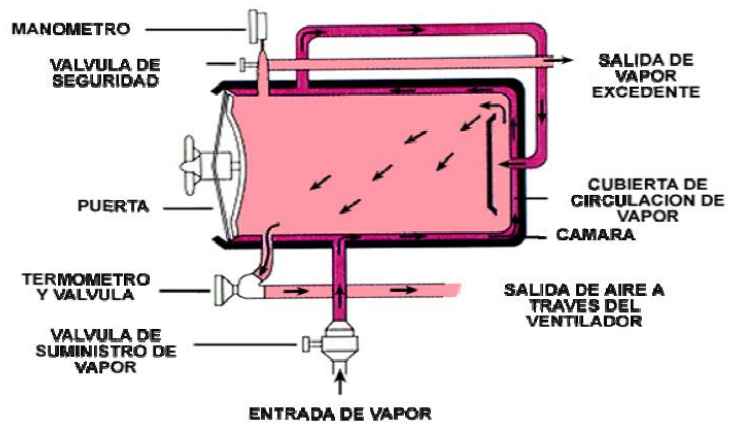


FIG. 2.1 Esquema general de un Autoclave

2.8.3 Proceso básico de la esterilización a vapor en autoclaves

- 1.- Calentamiento del agua y eliminación del aire: El agua se calienta hasta su temperatura de ebullición (es decir 100° C.) Durante esta fase de calentamiento, el aire está siendo desplazado de la cámara. Para mejorar la eliminación del aire se deja que el agua hierva durante algún tiempo después que haya alcanzado los 100° C.
- 2.- Aumento de la presión: La temperatura aumenta hasta la temperatura de esterilización indicada. Cerrando la válvula se cierra el recipiente, permitiendo que la temperatura y la presión aumenten hasta el nivel requerido.
- 3.- Tiempo de esterilización (*fase de esterilización o mantenimiento*): Durante este tiempo, se mantienen la temperatura y la presión al nivel necesario para la esterilización. Por esto se conoce a esta fase como el **tiempo de mantenimiento**.
- 4.- Reducción de la presión a la presión atmosférica: Se abre la válvula reguladora de presión permitiendo que el vapor escape y baje la presión en espera que el ciclo termine.
- 5.- Enfriamiento de la carga: Se abre la válvula que permite la entrada de aire del exterior a través de filtros hacia la cámara. Esta apertura permite el enfriamiento y el secado del material.

2.9 Transmisión del calor

En cualquier proceso de esterilización o desinfección por el calor es absolutamente esencial que el objeto sea calentado en todas sus partes por igual y que la temperatura de su centro se mantenga a un nivel bastante elevado para matar y destruir las bacterias.

Los materiales que han de ser esterilizados en recipientes por medio de calor, deben disponerse separados unos de otros, dejando espacio para la circulación del líquido en el recipiente. Las bolsas de aire en el recipiente, deben ser cuidadosamente suprimidas. Para facilitar la transmisión del calor las vasijas deben envasarse de modo que no queden demasiado apretadas, con objeto de que el vapor o el aire caliente circulen alrededor y entre ellas libremente

2.10 Parámetros de control de autoclaves en general

Los parámetros de control son la presión del vapor, el tiempo y la temperatura.

Presión del vapor: Vapor saturado con un título de 0.95 (95% de vapor y 5% de condensado) y libre de impurezas, utilizando agua blanda o tratada.

El tiempo y la temperatura: Estarán en relación directa con el grosor o el tipo de empaque definidos en los estándares establecidos por organismos internacionales.

- ✚ Por ejemplo en los autoclaves gravitacionales y el material de superficie con empaque simple utilizaremos:

121 °C por 30 minutos
134 °C por 15 minutos

Y en el caso de material de empaque denso o doble utilizaremos:

121 °C por 30 minutos
134 °C por 25 minutos.

- ✚ En los autoclaves de pre-vacío, el material de superficie y empaque denso y doble debe usarse:

134° C por 4 minutos.

2.11 Factores que afectan la esterilización por autoclave

Los factores que afectan la esterilización por autoclave son:

- a.- La eliminación incompleta del aire en el esterilizador: Esto produce la disminución de la temperatura afectando la esterilización. Las burbujas de aire, atrapadas en los paquetes actúan impidiendo la difusión y expansión del vapor. Esto ocurre por fallas en las bombas de vacío o en las autoclaves de desplazamiento por gravedad debido a la eliminación incompleta del aire.
- b.- El vapor sobrecalentado: Que puede afectar el poder microbicida debido a que pierde humedad y actúa en ese caso solo como aire caliente. Esto puede ocurrir porque el vapor no está en contacto con el agua desde la cual se forma. Es totalmente seco y no puede ser utilizado en autoclaves. Su temperatura sube rápidamente.

También el vapor saturado puede sobrecalentarse por una rápida reducción de la presión (más de 50% en forma abrupta) manteniéndose mayor presión y temperatura en la camisa que en la cámara. Otro motivo es por el resecamiento producido por su paso a través de materiales que tienen menos de 50% de humedad relativa. (Como es el caso de algunos textiles que se almacenan a altas temperaturas).

2.12 Métodos para comprobar la esterilidad

Para muchos fines industriales, hospitalarios y de investigación, es importante contar con unos medios absolutos que puedan comprobar, después de un proceso de esterilización por el calor, que hasta las esporas más resistentes al mismo han sido destruidas. Comúnmente se usan dos tipos generales de comprobación: uno de ellos está compuesto por tiras de papel, gasa o hebras de algodón, a los que se ha marcado con algún colorante termolábil. Colocados entre los materiales que deben ser esterilizados, el colorante adquiere una tonalidad característica, si el aparato ha estado sometido durante un tiempo suficiente a la temperatura deseada para la esterilización.

Una comprobación más directa, aunque un poco más lenta consiste en el uso de tiras de papel filtro cargadas de esporas, muy resistentes al calor, de *Bacillus subtilis*, una bacteria aerobia inofensiva. Las tiras impregnadas de esporas se

colocan envueltas en sobres estériles dentro de los materiales que deben ser esterilizados.

Después son trasladados a tubos con medios y se incuban. Si se produce crecimiento microbiano dentro de un plazo de siete días, es evidente que el proceso de esterilización empleado es insuficiente para destruir las esporas. En una variedad de este procedimiento, las ampollas cerradas disponibles en el comercio que contienen medios de cultivo con esporas latentes del inofensivo *Bacillus stearothermophilus*, se colocan entre los materiales que deben esterilizarse. Después de la esterilización, las ampollas completas se incuban a 55 °C. Si no hay crecimiento en siete días, ello constituye la prueba de la eficacia de la esterilización, puesto que las esporas de este bacilo figuran entre los seres vivos más resistentes al calor.

Además de las pruebas rutinarias de esterilización del material efectuadas en el laboratorio, se llevan a cabo pruebas “estándar” que son efectuadas por técnicos especializados, con material y medios esterilizados por métodos comprobados con la máxima precaución posible. Estas pruebas sirven para resaltar la importancia de los errores inevitables que se cometen al efectuar las técnicas. No deben utilizarse cámaras de inoculación o siembra

2.13 Generadores de vapor

Recipientes a Presión

Esta parte del equipo resulta ser el componente estructural de mayor importancia en el generador de vapor. Con frecuencia se utilizan cilindros como recipientes a presión, o tubos que pueden ser sujetos a presiones internas y/o externas, algunas aplicaciones comunes son cilindros de aire o hidráulicos, depósitos de almacenamiento de fluidos o tuberías, así como cañones para armas. Algunos de estos dispositivos tienen un extremo abierto, y algunos están cerrados, sí tienen un extremo abierto aparecerá un estado de esfuerzo en dos dimensiones en las paredes del cilindro, con componentes de esfuerzo radiales y tangenciales (de anillo). Sí están cerrados, estará presente un esfuerzo en tres dimensiones llamado longitudinal, axial y radial. Estos tres esfuerzos aplicados son

mutuamente ortogonales, y son principales, ya que no hay cortante aplicado, debido a la presión uniformemente distribuida.

El análisis de esfuerzos es la determinación de la relación entre las fuerzas externas que se aplican a un recipiente y el esfuerzo correspondiente. El énfasis de esta explicación no es la manera de realizar el análisis de esfuerzos en particular, sino la forma de analizar los recipientes y las partes que lo componen en un intento por lograr un diseño económico y seguro; la diferencia radica en que aquí se analizan los esfuerzos en donde sea necesario para determinar el espesor del material y los tamaños de los miembros. No es necesario encontrar cada esfuerzo sin conocer los esfuerzos principales y como se relacionan con el recipiente o sus partes, accesorios y soportes respectivos.

El punto de partida para el análisis de esfuerzos es la determinación de todas las condiciones de diseño de un problema dado; para luego determinar todas las fuerzas externas relacionadas con las partes del recipiente, que a su vez deben poseer la resistencia suficiente para soportar los esfuerzos correspondientes. Al aislarse las causas (cargas), de los efectos (esfuerzos), estos últimos pueden determinarse con mayor precisión.

A continuación, se citará el método empleado para el diseño de un recipiente a presión según el **“Manual de recipientes a presión, diseño y cálculo” de Eugene F. Megyesy. Limusa. México 1.992.**

a) Esfuerzo en cascos cilíndricos

La presión uniforme, interna o externa, induce en la costura longitudinal un esfuerzo unitario igual al doble del que obra en la costura circunferencial, por la geometría misma del cilindro. Cuando otras fuerzas por ejemplo, de viento, sísmicas, u otras no son factores importantes para un recipiente sujeto a presión interna, éste debe diseñarse para resistir sólo la deformación circunferencial. La norma establece el método de diseño para llenar tal requisito. Cuando actúan además otras cargas, la combinación de las mismas pueda ser la que rijan, y podrá requerirse una placa de mayor espesor que el necesario para resistir únicamente

Capítulo II MARCO TEÓRICO

la deformación circunferencial. El esfuerzo a la compresión debido a la presión externa y el esfuerzo a la presión interna se determinarán mediante la fórmula siguiente:

- Junta circunferencial

$$S_1 = \frac{PD}{4t}$$

- Junta longitudinal

$$S_2 = \frac{PD}{2t}$$

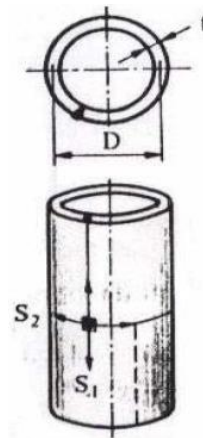


FIG. 2.2. Esfuerzos principales en casco cilíndrico.

En donde:

- D = Diámetro medio del recipiente, pulgadas.
- P = Presión interna o externa, lb/pulg².
- S1 = Esfuerzo longitudinal, lb/pulg².
- S2 = Esfuerzo circunferencial (o de suncho), lb/pulg².
- t = Espesor del casco, sin margen por corrosión, pulgadas.

b) Presión de operación

Es la presión que se requiere en el proceso del que forma parte el recipiente, a la cual trabaja normalmente

c) Presión de diseño

Es la presión que se emplea para diseñar el recipiente. Se recomienda diseñar un recipiente y sus componentes para una presión mayor que la de operación. Este requisito se satisface utilizando una presión de diseño de 30 psi ó 10% más que

Capítulo II MARCO TEÓRICO

la presión de trabajo, la que sea mayor. También debe tomarse en consideración la presión del fluido y de cualquier otra sustancia contenida en el recipiente

d) Máxima presión permitida de operación

Es la presión interna a la que está sujeto el elemento más débil del recipiente, correspondiente al esfuerzo máximo admisible, cuando se supone que el recipiente está:

- En estado de desgaste por corrosión.
- A una temperatura determinada.
- En posición normal de trabajo.
- Bajo el efecto de otras cargas (carga de viento, presión externa, presión hidrostática, otras) que son aditivas a la presión interna.

Una práctica común que siguen muchos usuarios y fabricantes de recipientes sujetos a presión, es considerar la presión máxima de trabajo permitida de la cabeza o del casco, y no la de elementos pequeños como bridas o aberturas, entre otros

e) Presión de la prueba hidrostática

Debe ser una y media veces la máxima presión permitida de operación o la de diseño cuando no se hacen cálculos para determinar la máxima presión permitida de trabajo.

Si el valor del esfuerzo del material del recipiente a la temperatura de diseño, es menor que la temperatura de prueba, la presión de prueba hidrostática debe aumentarse proporcionalmente.

- Casco cilíndrico (Costura longitudinal)

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P}$$

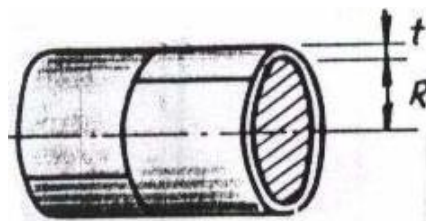


FIG. 2.3. Casco cilíndrico.

- Esfera y cabeza hemisférica

$$t = \frac{P \cdot R}{2S \cdot E - 0,2 \cdot P} \quad P = \frac{2SE \cdot t}{R + 0,2t}$$

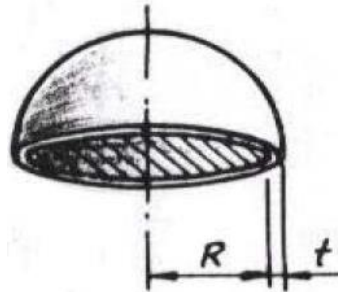


FIG. 2.4. Cabeza hemisférica.

- Cabeza elipsoidal

$$t = \frac{P \cdot D}{2S \cdot E - 0,2 \cdot P} \quad P = \frac{2SE \cdot t}{D + 0,2t}$$

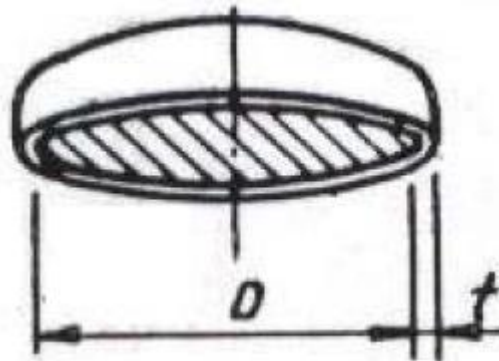


FIG. 2.5. Cabeza elipsoidal.

f) Cabeza circular plana

Existen dos tipos de tapa plana, en las cuales varía la forma del borde.

- Entera con borde en forma de anillo

Esta fórmula aplica cuando el diámetro, (d), no exceda de 24 pulg.

$$t = d \sqrt{\frac{0,13P}{SE}} \quad r = \frac{1}{4}t(\text{min})$$

- Soldada en el borde

$$t = d \sqrt{\frac{0,2P}{SE}}$$

En donde:

- P = Presión de diseño o presión máxima de trabajo permitida, lb/pulg².
- S = Valor del esfuerzo de fluencia del material, lb/pulg².
- E = Eficiencia de la junta soldada, ver anexo (A.1).
- R = Radio interior, pulgadas.
- D = Diámetro interior, pulgadas.
- t = Espesor de pared, pulgadas.
- d = Diámetro interior del casco, pulgadas.
- r = radio interior del borde en forma de anillo, pulgadas.

g) Margen por corrosión (C.A)

Los recipientes con espesor mínimo requerido menor de 1/4 de pulgada que tengan de usarse para vapor de agua, deberán tener un margen por corrosión no menor de 1/6 del espesor de placa calculado. Espesor mínimo, de cascos y cabezas, 3/32 de pulg.

h) Registros

Existen registros en un recipiente a presión cuando hay tuberías externas conectadas a él, éstos deben ser de preferencia circulares, elípticos u oblongos. Un registro oblongo es aquel formado por dos lados paralelos y extremos semicirculares.

Las aberturas reforzadas correctamente no tienen limitación en cuanto a tamaño, pero cuando un registro en la cabeza de un casco cilíndrico sea mayor de la mitad del diámetro interior de la cabeza, se recomienda usar secciones de reducción del casco en lugar de cabezas.

- Registros de inspección

Todos los recipientes sujetos a presión que contengan aire comprimido y aquellos sometidos a corrosión interna, erosión o abrasión mecánica, deben proveerse de un registro para hombre, un registro para la mano u otras aberturas

Capítulo II MARCO TEÓRICO

de inspección para ser revisados y limpiados. Los registros que aparecen en la tabla 2.1 se han seleccionado de las opciones permitidas por la norma.

Tabla 2.1 Registros de inspección de acuerdo al diámetro del recipiente.

DIÁMETRO INTERIOR DEL RECIPIENTE	REGISTRO DE INSPECCIÓN REQUERIDO
Mayor de 12 pulg. y menor de 18 pulg.	Dos aberturas con tubo roscado de 1½ pulg. de diámetro
18 pulg. a 36 pulg. Inclusive	Registro de hombre con un mínimo de 15 pulg. de D.I o dos aberturas con tubo roscado de 2 pulg. de diámetro
Mayor de 36 pulg.	Registro de hombre con un mínimo de 15 pulg. de D.I o dos boquillas con tubo de 6 pulg. de diámetro.

• No se requieren registros de inspección cuando:

✚ En recipientes de 12 pulg. de diámetro o menores, si tienen por lo menos dos conexiones removibles para tubos de ¾ de pulg. Como mínimo.

✚ En recipientes de más de 12 pulg. de diámetro interior que se van a instalar de manera que puedan desconectarse de un arreglo para permitir su inspección, si tienen por lo menos dos conexiones para tubo removibles no menores de 1½ pulg.

✚ En recipientes de más de 12 pulg. de diámetro interior sujetos a presión interna de aire que también contengan otras sustancias que impidan la corrosión, siempre que el recipiente tenga aberturas adecuadas por las que se pueda hacer conveniente su inspección.

✚ En recipientes (no mayores de 36 pulg. de diámetro interno) provistos de agujeros de aviso (como mínimo un agujero por cada 10 pies²) que cumplan con las disposiciones de la norma, que estén sometidos solo a corrosión y que no sean para uso con aire comprimido.

h) Soldadura de recipientes a presión:

Existen varios métodos para hacer juntas soldadas. En cada caso particular la elección de un tipo, entre las numerosas alternativas dependen de:

✚ Circunstancias para la realización de la soldadura: en muchos casos, la accesibilidad de la junta determina el tipo de soldadura. En un recipiente de

diámetro pequeño (menos de 18 a 24 pulg.) no puede aplicarse la soldadura manual. Se utiliza una tira de respaldo, ésta debe permanecer en su lugar. En los recipientes de mayor diámetro, sino tienen registro para hombre, la última junta (de cierre) sólo puede soldarse desde el exterior. El tipo de soldadura puede ser determinado también por el equipo del fabricante.

✚ Requisito de las normas: de acuerdo al tipo de junta, las normas establecen requisitos basados en el servicio, el material y la ubicación de la soldadura. Los procesos de soldadura que pueden aplicarse en la construcción de un recipiente están restringidos también por las normas, las cuales hacen referencia al tipo de unión soldada, diseño de juntas soldadas, eficiencia de las mismas y reducción de esfuerzos.

✚ Aspectos económicos: la elección de un proceso de soldadura específico, es determinado en gran parte por el costo que involucra su realización.

i) Tamaño óptimo del recipiente

Para construir un recipiente de cierta capacidad con el mínimo de material, debe determinarse la relación correcta de longitud al diámetro. La relación óptima puede hallarse mediante el procedimiento siguiente:

$$F = \frac{P}{CSE}$$

En donde:

- P = Presión de diseño, lb/pulg².
- C = Margen por corrosión, pulg.
- S = Valor del esfuerzo de fluencia del material, lb/pulg².
- E = Eficiencia de la junta.

Entrar a la gráfica de la figura 2.6, a la izquierda con la capacidad deseada del recipiente recorrer horizontalmente hasta la línea que representa el valor de, F, a partir de la intersección, avanzar verticalmente y leer el valor de, D.

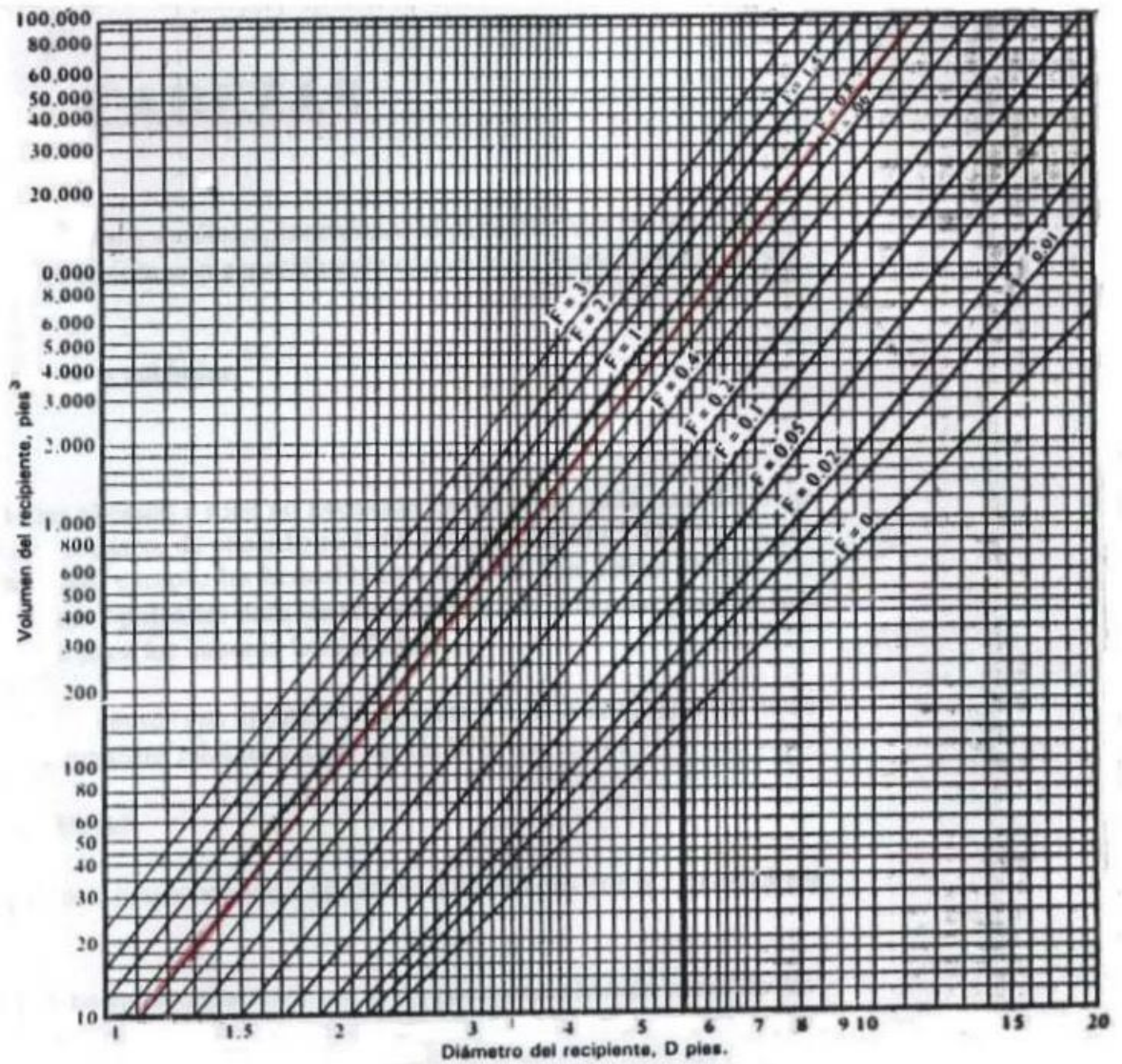


FIG. 2.6. Gráfica para determinar el tamaño óptimo del recipiente.

Luego el valor, L, se calcula:

$$L = \frac{4V}{\pi D^2}$$

En donde:

- L = Longitud del recipiente, pies.
- V = Volumen del Recipiente, pies³.
- D = Diámetro Interior del recipiente, pies.

j) Cabezas. (Tapas)

Para recipientes de diámetro pequeño y mediano, las cabezas elipsoidales son las más usadas, mientras que los de gran diámetro se fabrican generalmente con cabezas hemisféricas o bridadas y abombadas.

2.14 Transferencia de calor

2.14.1 Transmisión de calor por conducción

La conducción es el único mecanismo de transmisión de calor posible en los medios sólidos opacos. Cuando en estos cuerpos existe un gradiente de temperatura, el calor se transmite de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura.

El calor transferido por conducción en la unidad de tiempo sin generación a través de un sólido en la dirección “x” viene dado por la ley de Fourier, que en forma diferencial se expresa de la siguiente manera.

$$q = -KA \cdot \frac{dT}{dx}$$

En forma integral para una pared plana, la ley de Fourier adopta la siguiente forma:

$$q = kA \cdot \frac{\Delta T}{L}$$

De igual manera la resistencia térmica a la conducción en una pared plana es:

$$R_{t,cond} = \frac{T_i - T_o}{q} = \frac{L}{kA}$$

La conducción de calor para una pared plana se ilustra en la figura 2.7.

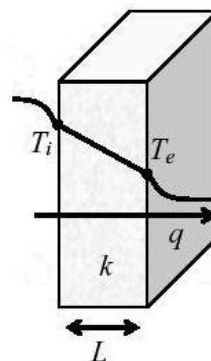


FIG. 2.7. Conducción de calor, en pared plana

En donde:

- k = Conductividad térmica del material, W/m.K.
- A = Área de transmisión de calor, m^2 .
- dT/dx = Gradiente de Temperatura en la dirección, x , K/m. ó $^{\circ}C/m$.
- L = Espesor de la pared, m.
- ΔT = Diferencia de temperaturas, K ó $^{\circ}C$.
- T_i = Temperatura de la superficie interna de la pared plana, K ó $^{\circ}C$.
- T_e = Temperatura de la superficie externa de la pared plana, K ó $^{\circ}C$.
- q = Velocidad de transferencia de calor a través de la pared plana, W.

Para el caso de la conducción de calor en una pared cilíndrica la ley de Fourier adopta las siguientes expresiones.

En forma diferencial

$$q = -kA \frac{dT}{dr}$$

En forma integral se tiene

$$q = \frac{(T_i - T_o)}{\frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi kL}}$$

De igual manera la resistencia térmica a la conducción en una pared cilíndrica es:

$$R_{t,cond} = \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi kL}$$

La conducción de calor en una pared cilíndrica se ilustra en la figura 2.8.

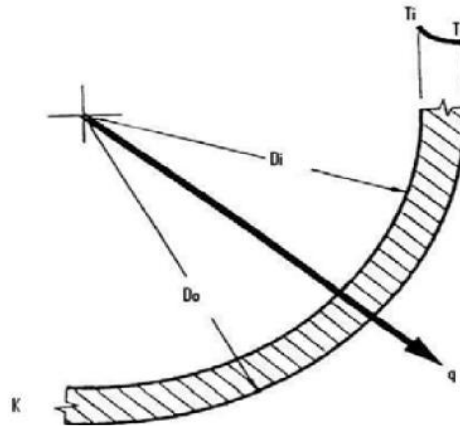


FIG. 2.8. Conducción de calor, en una pared cilíndrica.

En donde:

- k = Conductividad térmica del material, W/m.K.
- A = Área de transmisión de calor, m^2 .
- dT/dr = Gradiente de temperatura en la dirección radial, K/m. ó $^{\circ}C/m$.
- r_i = radio interno del cilindro, m.
- r_o = radio externo del cilindro, m.
- L = Longitud del cilindro, m.
- T_i = Temperatura de la superficie interna del cilindro, K ó $^{\circ}C$
- T_o = Temperatura de la superficie externa del cilindro, K ó $^{\circ}C$.
- q = Velocidad de transferencia de calor a través de la pared del cilindro, W.

2.14.2 Transmisión de calor por convección

El modo de transferencia de calor por convección se compone de dos mecanismos. Además de la transferencia de energía debida al movimiento molecular aleatorio (difusión), la energía también se transfiere mediante el movimiento global, o microscópico del fluido. El movimiento del fluido se asocia con el hecho de que, en cualquier instante, grandes números de moléculas se mueven en forma colectiva. Tal movimiento, en presencia de un gradiente de temperatura, contribuye a la transferencia de calor. La ecuación que describe este mecanismo de transferencia de calor es denominada ley de enfriamiento de Newton.

$$q = hA(T_s - T_{\infty})$$

La resistencia térmica a la convección se expresa de la siguiente manera:

$$R_{t,conv} = \frac{T_s - T_{\infty}}{q} = \frac{1}{hA}$$

El mecanismo de transferencia de calor por convección, se ilustra en la figura 2.9.

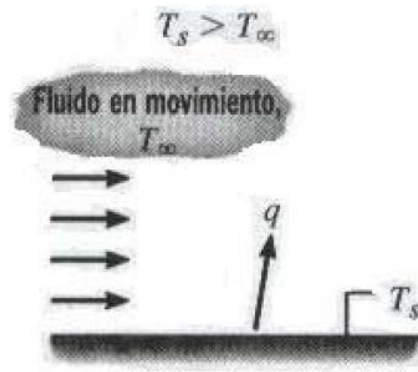


FIG. 2.9. Transferencia de calor por convección.

En donde:

- q = Calor por convección, W.
- \hat{h} = Coeficiente de transferencia de calor por convección promedio, $W/m^2.K$.
- A = Área de transmisión de calor, m^2 .
- T_s = Temperatura de la superficie, K ó $^{\circ}C$.
- T_{∞} = Temperatura del fluido libre, K ó $^{\circ}C$.

Es necesario conocer los métodos utilizados para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección, a partir de numerosas deducciones matemáticas, se logró definir un parámetro adimensional dependiente que se denomina número de Nusselt, éste valor representa un gradiente de temperatura adimensional en la superficie y proporciona una medida de la transferencia de calor por convección que ocurre en la superficie

2.14.3 Convección Libre

Cuando las pérdidas de calor son hacia el ambiente exterior, y suponiendo que éste ambiente está en reposo. En este caso el

Capítulo II MARCO TEÓRICO

mecanismo de transferencia de calor, se denomina convección libre o natural, para el cálculo del calor, en esta condición se requiere evaluar un número adimensional; el número de Rayleigh, y se define como:

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha}$$

Es necesario definir también un parámetro adimensional que relaciona las difusividades de momento y viscosa y es denominado Número de Prandtl.

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu C_p}{k_f}$$

En donde:

- g = Gravedad, m/s^2
- β = Coeficiente de expansión térmica, $1/K$
- ν = Viscosidad cinemática, m^2/s .
- α = Difusividad térmica, m^2/s .
- T_s = Temperatura superficial,
- T_∞ = Temperatura del medio, K ó $^\circ C$.
- L = Longitud característica de la placa, m .
- μ = viscosidad absoluta, Pas .
- C_p = Calor específico a presión constante del fluido, $J/kg.K$
- k_f = Conductividad térmica del fluido, $W/m.K$

- Placa vertical, cilindro vertical.

Sobre la base de numerosos experimentos se ha visto que el número de Nusselt puede relacionarse con los números de Prandtl y Rayleigh. A continuación se describen las correlaciones utilizadas para placas verticales y cilindros verticales, siempre y cuando se cumpla para estos últimos con la siguiente premisa.

$$\frac{D}{L} \geq \frac{35}{\left(\frac{Ra_L}{Pr}\right)^{1/4}}$$

En donde:

- D = Diámetro del cilindro, m.
- L = Longitud del cilindro vertical, m.
- RaL = Número de Rayleigh
- Pr = Número de Prandtl

Churchill y Chu recomiendan una correlación que se puede aplicar sobre todo el intervalo de RaL y es de la forma.

$$Nu_L = \frac{\bar{h}L}{k_f} = \left\{ 0.825 + \frac{0.387Ra_L^{1/6}}{\left[1 + (0.492/Pr)^{9/16}\right]^{8/27}} \right\}^2$$

Aunque la ecuación anterior es adecuada para la mayoría de los cálculos de ingeniería, se puede obtener una precisión ligeramente mayor para el flujo laminar mediante el uso de:

$$Nu_L = \frac{\bar{h}L}{k_f} = 0.68 + \frac{0.670Ra_L^{1/4}}{\left[1 + (0.492/Pr)^{9/16}\right]^{4/9}} \quad Ra_L \leq 10^9$$

En donde:

- RaL = Número de Rayleigh según ecuación 2.25
- Pr = Número de Prandtl según ecuación 2.26
- NuL = Número de Nusselt.

Placas horizontales.

A continuación se describen las correlaciones utilizadas para placas horizontales de acuerdo a las distintas configuraciones mostradas en la figura 2.14, teniendo en cuenta que la longitud característica del número de Rayleigh se debe evaluar de la siguiente manera.

$$L = \frac{A_s}{P}$$

En donde:

- AS = Área superficial de la placa, m².

Capítulo II MARCO TEÓRICO

- P = Perímetro de la placa plana, m.
- Superficie superior de placa caliente o superficie inferior de placa fría

$$Nu_L = \frac{\bar{h}L}{k_f} = 0,54Ra_L^{1/4} \quad 10^4 \leq Ra_L \leq 10^7$$

$$Nu_L = \frac{\bar{h}L}{k_f} = 0,15Ra_L^{1/3} \quad 10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11}$$

- Superficie superior de placa fría o superficie inferior de placa caliente

$$Nu_L = \frac{\bar{h}L}{k_f} = 0,27Ra_L^{1/4} \quad 10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10}$$

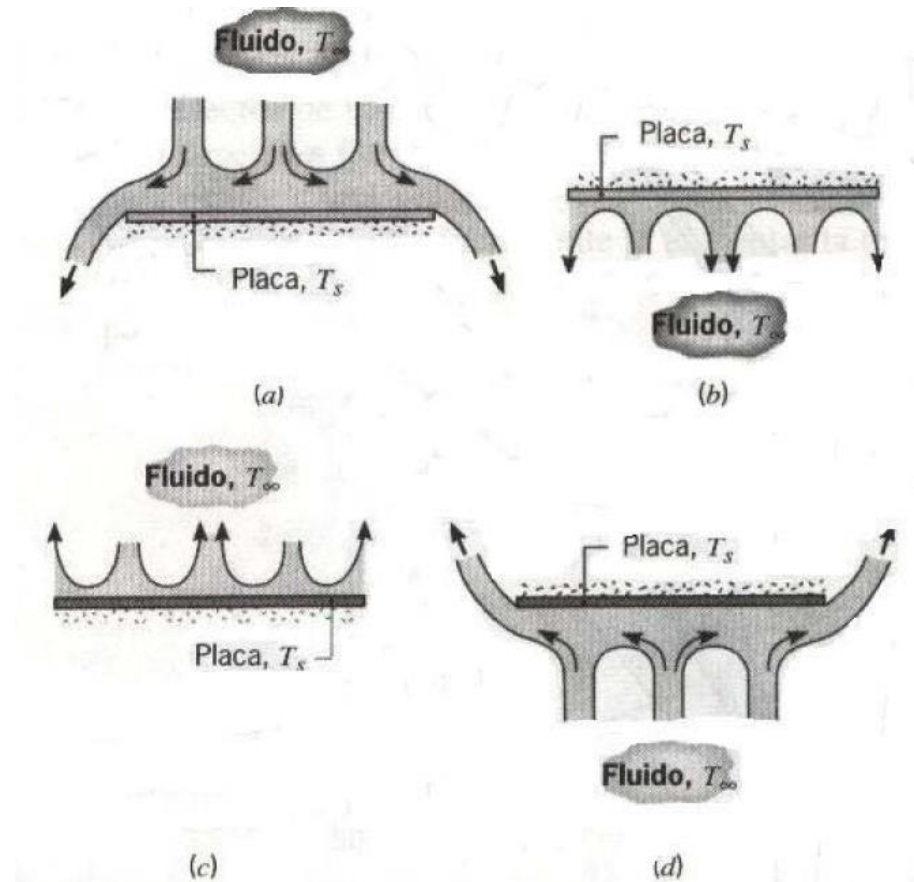


FIG. 2.11 Convección natural o libre, placas horizontales. (a) Superficie superior de placa fría, (b) Superficie inferior de placa fría, (c) Superficie superior de placa caliente, (d) Superficie inferior de placa caliente.

Fuente N° 2.

SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

3.1. Generalidades

En todo proyecto de ingeniería es necesario el análisis técnico a fin de determinar los parámetros de fabricación y funcionamiento, así como también una rigurosa evaluación de cada uno de sus componentes y partes con el propósito de garantizar el buen funcionamiento del equipo

Es por ello que este proyecto no podía escapar de este estudio, sustentado en las bases de la termodinámica, transferencia de calor y mecánica clásica

3.2. Cálculos Eléctricos

3.2.1. Calculo del calibre de los conductores y corriente consumida por los elementos calefactores

Luego de identificar el tipo de conexión monofásica en la cual estaban conectados los elementos calefactores se procedió a realizar los respectivos cálculos eléctricos para identificar la magnitud de la corriente que debe ser capaz de soportar los diferentes conductores eléctricos

Teniendo presente que cada uno de estos está diseñado para disipar una potencia de 3KW al estar sometidos sus terminales a 220 V es posible realizar los cálculos pertinentes.

La potencia total para el sistema bifásico viene dada por:

$$P_{2\phi} = 2 * P_{nom} \quad P_{2\phi} = 2 * 3 \quad P_{2\phi} = 2 * 3 = 6KW$$

Donde:

$P_{2\phi}$ = Potencia bifásica del sistema, W.

P_{nom} = Potencia nominal del banco de resistencias, W.

La corriente eléctrica que circula por los conductores eléctricos es: $I = \frac{P}{V}$

$$I = \frac{6000}{220} = 27,3A$$

Para la selección de los conductores es importante emplear un factor de seguridad del 25% según recomendaciones técnicas, siendo entonces la corriente que pasa por cada

conductor la siguiente:

$$I_c = 1,25 * I = 1,25 * 27,3 = 34A$$

Según el código eléctrico nacional, tenemos que el calibre de cable adecuado para la conexión de los elementos calefactores es un cable THHN # 10 cuya corriente nominal es de 40 A.

Además de la selección de los conductores, es necesario seleccionar un interruptor (breaker superficial) bifásico de 40 A para energizar el banco de resistores. Para controlar el encendido y apagado de los elementos calefactores por medio del presostato, se escogió un contactor del tipo electro magnético de 40 A.

3.3. Determinación de la presión interna de operación del generador de vapor

El vapor necesario para el proceso de esterilización se debe generar a ciertas condiciones de presión y temperatura, para que dentro de la cámara de esterilización se obtenga un ambiente de vapor saturado a 121 °C.

Luego de consultar varias fuentes bibliográficas se determinó que es recomendable que el vapor generado salga de el recipiente a presión a aproximadamente 123 °C, es decir, 3 °C más que el requerido para el proceso. Esto debido a las inevitables pérdidas que ocurren en el tramo de tubería de cobre que une los recipientes emisor y receptor de vapor, mediante los mecanismos de conducción y convección.

A partir de los datos suministrados por distintos fabricantes de equipos de igual uso y volumen de la cámara de esterilización, se pudo saber que lo más recomendable es generar el vapor con 10 °C de diferencia. Es por esto que se tomó la decisión de trabajar, para mayor seguridad con un delta de temperatura de (110-130) °C.

Luego de consultar la tabla de compilación de datos termodinámicos, se determinó que para estas temperaturas y considerando que se requiere de vapor saturado, el delta de presiones correspondiente es de (140-280) Kpa

La presión manométrica interna máxima a que estará sometido el recipiente generador de vapor es:

$$P_{man} = P_{abs} - P_{atm}$$

Donde:

P_{man} = Presión manométrica, [Pa]

P_{abs} = Presión absoluta, [Pa]

P_{atm} = Presión atmosférica, [Pa]

El generador de vapor funcionará en las instalaciones del área de esterilización de la Clínica Hospital San Agustín donde la presión atmosférica es de aproximadamente:

$$P_{atm} = 78 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

Por lo tanto:

$$P_{man} = 241,65 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

3.4. Cálculo del recipiente a presión

La presión manométrica hallada anteriormente, corresponde a la presión de operación del equipo, por lo que:

$$P_{op} = 30 \text{ psi}$$

Según el ítem "C" numeral 2.8.1 del Capítulo II, se sugiere que la presión de diseño sea 10% si $P_o > 30 \text{ PSI}$ ó 30 psi más si $P_o \leq 30 \text{ PSI}$ que la presión de operación; para el cálculo de este recipiente se tomara el criterio que $P_o \leq 30 \text{ PSI}$ por lo tanto tenemos:

$$P_{dis} = 30 \text{ psi} + P_{op}$$

$$P_{dis} = 60 \text{ psi}$$

A continuación se procederá a verificar que las diferentes partes por las que está constituido el recipiente a presión (generador de vapor) son capaces de soportar presiones mayores a la de operación, para así garantizar que no habrá falla mecánica

3.4.1. Cálculo de la máxima presión de operación para el casco cilíndrico

Tomando en cuenta que el casco cilíndrico cuenta con una costura longitudinal; se procederá a aplicar la siguiente ecuación.

$$t = \frac{P_{dis} \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P_{dis}} \quad \text{Ec. 4.1}$$

Donde:

t = espesor de la pared, plg

P_{dis} = Presión de diseño o presión máxima de trabajo permitida, lb/plg².

R = Radio interior, plg.

S = Valor del esfuerzo de fluencia del material, lb/plg².

E = Eficiencia de la junta soldada, ver anexo (A.1).

De este casco cilíndrico se sabe que el espesor de la pared es $t = 1/8$ plg, y que el material del que está fabricado es acero inoxidable AISI 304 clase A, al cual le corresponden los siguientes valores de esfuerzo de fluencia S_y , y modulo de elasticidad E :

$S = 34989.42$ psi

$E = 28 \times 10^6$ psi

Sustituyendo estos valores en la ecuación 4.1, y despejando la máxima presión de trabajo, se tiene que:

$$0.125 = \frac{P_{max} * 3.8}{(35679.28) * (0,6) - 0,6 * P_{max}}$$

$$P_{max\ opera} = 725.3 \text{ psi}$$

3.4.2. Calculo de la máxima presión de operación para la cabeza elipsoidal

Tomando en cuenta que la cabeza elipsoidal cuenta con una costura longitudinal; se procederá a aplicar la siguiente ecuación:

$$t = \frac{\frac{P_{max} * D}{oper}}{2 * S * E - 0,20 * \frac{P_{max}}{oper}} \quad \text{Ec. 4.2}$$

Donde

D = diámetro externo de la cabeza elipsoidal, plg

De este elemento se sabe que el espesor de la pared es $t = 1/8$ plg, y que el material del que está fabricado es el mismo acero que el del casco cilíndrico, es decir tiene los mismos valores de esfuerzo de fluencia S , y modulo de elasticidad E .

Sustituyendo estos valores en la ecuación 4.2, y despejando la máxima presión de trabajo, se tiene que:

$$(0.125) = \frac{P_{oper}^{max} * (7.086)}{2 * 34989.42 * 0,6 - 0,20 * P_{oper}^{max}}$$

$$P_{oper}^{max} = 738.1 \text{ psi}$$

3.4.3. Calculo de la máxima presión de operación para la cabeza circular plana

Tomando en cuenta que la cabeza circular plana es de la forma soldada en el borde, y que su diámetro es ≥ 24 plg, se procederá a aplicar la siguiente relación:

$$t = d * \sqrt{\frac{0,13P}{SE}} \quad \text{Ec. 4.3}$$

Donde:

t = espesor de la pared plana 1/2 plg.

d = diámetro de la parte que está sometida a presión, plg

Sustituyendo estos valores en la ecuación 4.3, y despejando la máxima presión de trabajo, se tiene que:

$$P_{oper}^{max} = 823.93 \text{ psi}$$

3.5. Calculo termodinámico

Durante el proceso de adición de calor al agua líquida contenida en el recipiente a presión se hace necesario determinar cada uno de los estados termodinámicos involucrados, esto con la finalidad de lograr determinar más adelante la energía total necesaria para obtener vapor a las condiciones óptimas de esterilización y también el tiempo necesario para que el recipiente a presión sea capaz de suministrar vapor en tales condiciones

Masa total de liquido contenido en el recipiente:

Volumen total del recipiente: 19.875 ltrs

Del volumen total se reserva el 80,5 % para contener líquido y el 19,5 % restante para contener vapor.

$$V_f = 0,805 * V_{rec}$$

$$V_f = 0,805 * 19.875$$

$$V_f = 16 L$$

$$V_f = 0,016 m^3$$

Masa de líquido:

Sabiendo que la temperatura ambiental es en promedio $T_{amb} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ ($291.15 \text{ }^\circ\text{K}$), y de la tabla del anexo B.1 se obtiene:

$$\left. \begin{array}{l} T = 291.15 \text{ }^\circ\text{K} \\ P = 78 * 10^3 Pa \end{array} \right\} V_f = 0,0010016 m^3/kg \text{ volumen especifico para } T_{amb}$$

$$m_i = \frac{V_f}{v_f} = \frac{0,016 m^3}{0,0010016 m^3/kg} = 15.9744 kg$$

✚ Primer estado (líquido comprimido).

$$T_1 = 291.15 \text{ }^\circ\text{K} \text{ Temperatura ambiente}$$

$$P_1 = 78 \text{ KPa Presión atmosférica}$$

Con este valor de presión, se puede leer el volumen específico y la energía interna del líquido.

$$V_{f1} = 0,0010016 m^3/kg$$

$$U_{f1} = 75.566 \text{ K J/kg}$$

Bajo las condiciones de adición de calor a presión constante, hasta que el agua líquida se encuentre en condición de líquido saturado, es posible definir el segundo estado termodinámico

✚ Segundo estado (líquido saturado)

$$T_2 = 363.15 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$P_2 = P_1 = 78 \text{ KPa}$$

Con esta presión es posible leer el volumen específico V_{f2} y las demás propiedades.

$$V_{f2} = 0,001036 m^3/kg$$

$$U_{f2} = 376,85 * 10^3 J/kg$$

$$V_{g2} = 2.361 m^3/kg$$

Entre el estado 1 y 2 se calcula la cantidad de energía requerida, por medio de la primera ley de la termodinámica para un sistema cerrado en ausencia de trabajo mecánico.

Se tiene entonces:

$$Q_{1-2} = m_l * (U_{f2} - U_{f1})$$

$$Q_{1-2} = 15.9744 * (376,85 * 10^3 - 75.566 * 10^3) = 4.8128 * 10^6 J$$

Una vez alcanzada esta condición, el sistema sigue recibiendo calor a la presión atmosférica alcanzando una mezcla líquido – vapor. Asumiendo que la masa de vapor que sale es despreciable, podemos decir que el espacio superior del recipiente es ocupado solo por vapor.

✚ Tercer estado mezcla comprimido (mezcla líquido – vapor).

$$T_3 = T_2 = 363.15 \text{ } ^\circ K \quad P_3 = P_2 = 78 \text{ KPa}$$

Masa de líquido en el nivel máximo: $m_l = 15.9744 \text{ Kg}$

$$V_3 = \frac{V_{rec}}{m_t} \quad V_3 = \frac{0,019875 \cdot m^3}{15.9744 \text{ kg}} \quad V_3 = 1,2442 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$X_3 = \frac{V_3 - V_{f2}}{V_{g2} - V_{f2}} \quad X_3 = \frac{1,2442 * 10^{-3} - 1,036 * 10^{-3}}{2,361 - 1,036 * 10^{-3}} = 8.825982 * 10^{-5}$$

$$U_{fg2} = 2 \ 117,7 \text{ K J/kg} \quad U_3 = U_{f2} + X_3 * U_{fg2}$$

$$U_3 = 3.770369078 * 10^5 \text{ J/kg}$$

Suponiendo que la pérdida de masa como vapor es despreciable con respecto al total:

$$Q_{2-3} = m_l * (U_3 - U_{f2})$$

$$Q_{2-3} = 2.985 * 10^3 \text{ J}$$

A partir de este momento se genera vapor a volumen específico constante hasta alcanzar la presión de 232.1 KPa

✚ Cuarto estado mezcla saturado (mezcla líquido – vapor).

$$T_4 = 298.15 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$P_4 = 232.1 \text{ KPa}$$

$$V_4 = V_3 = 1,2442 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$V_{f4} = 0.001055 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$V_{g4} = 0.7706 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$U_{f4} = 524.74 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$$

$$U_{fg4} = 2009.9 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$$

$$X_4 = \frac{V_4 - V_{f4}}{V_{g4} - V_{f4}}$$

$$X_3 = \frac{1,24429 \cdot 10^{-3} - 0.001055}{0.7706 - 0.001055} = 2.4597 \cdot 10^{-4}$$

$$U_4 = U_{f4} + X_4 \cdot U_{fg4}$$

$$U_4 = 525234.388 \text{ J/kg}$$

$$Q_{3-4} = m_t \cdot (U_4 - U_3)$$

$$Q_{3-4} = 2.367 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Se abre la válvula de suministro y se obtienen el vapor necesario para la esterilización
Energía Total necesaria:

$$Q_{1-4} = 7.183 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Tomando la eficiencia de los elementos calefactores de 80% se tiene:

$$Q_{\text{real}} = 0,8 \cdot 6000\text{W}$$

$$Q_{\text{real}} = 4.8\text{KW}$$

Por lo tanto el tiempo requerido para alcanzar las condiciones finales desde que se enciende el equipo es:

$$t = \frac{Q_{\text{total}}}{Q_{\text{real}}} = 1496.45 \text{ s} = 25 \text{ min}$$

3.6. Cálculo del aislante para el recipiente a presión y cámara de esterilización

Con la finalidad de mejorar la eficiencia del proceso de generación de vapor y la esterilización, se hace necesario la implementación de un sistema de aislamiento térmico, para minimizar así las pérdidas de energía en forma de calor que ocurren por los mecanismos de conducción y convección.

En el mercado regional existen diversos materiales que cumplen con la función de aislante térmico, es decir materiales que tienen una baja conductividad térmica.

Para esta aplicación se escogerá el aislante de fibra de vidrio con cubierta de aluminio, ya que además de cumplir el objetivo, cuenta con una alta aplicación por tener atributos

como costo moderado, disponibilidad en el mercado de un amplio rango de espesores, y facilidad de instalación.

Para este cálculo se dividirá el recipiente generador de vapor en dos secciones, una para la sección ocupada por el vapor, y otra sección será tomada para el líquido.

Para la cámara de esterilización se asumirá que contiene solamente vapor de agua saturado, ya que la cantidad de condensado es despreciable comparado con el volumen total de la cámara. Así mismo para ambos casos se dividirán los recipientes en estudio en sus partes componentes, como casco cilíndrico, tapa plana, y cabeza elipsoidal etc

3.6.1. Calculo del aislante para el recipiente generador de vapor

3.6.1.1. Casco Cilíndrico

En la figura 4.2 se modela el circuito térmico equivalente, que define la forma en que el calor se transfiere al exterior a través del casco cilíndrico del recipiente. Para esto se asumirá que la transferencia de calor por convección es natural o libre.

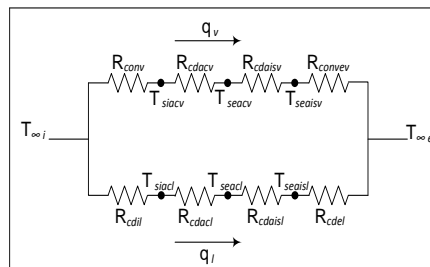


Fig. 4.2 Circuito Térmico equivalente casco cilíndrico

En donde:

- ✚ $T_{\infty i}$ = temperatura de saturación para el agua a presión de operación, K
- ✚ $T_{\infty e}$ = temperatura del aire exterior, K .
- ✚ T_{siocv} = temperatura de la superficie interna del cilindro de acero en contacto con el vapor, K .
- ✚ T_{siocl} = temperatura de la superficie interna del cilindro de acero en contacto con el líquido, K .
- ✚ T_{seocv} = temperatura de la superficie externa del cilindro en contacto con el aislante en la sección de vapor, K .

- ✚ T_{seaisl} = temperatura de la superficie externa del cilindro en contacto con el aislante en la sección de liquido, K
- ✚ T_{seaisv} = temperatura de la superficie externa del aislante en contacto con el aire en la sección de vapor, K
- ✚ T_{seaisl} = temperatura de la superficie externa del aislante en contacto con el aire en la sección de liquido, K
- ✚ R_{cdniv} = resistencia térmica a la conducción natural interna en la sección de vapor, K/W
- ✚ R_{cdnil} = resistencia térmica a la conducción natural interna en la sección de liquido, K/W
- ✚ R_{cdacv} = resistencia térmica a la conducción a través del acero en la sección de vapor, K/W
- ✚ R_{cdacil} = resistencia térmica a la conducción a través del acero en la sección de liquido, K/W
- ✚ R_{cvnev} = resistencia térmica a la convección natural externa en la sección de vapor, K/W
- ✚ R_{cynel} = resistencia térmica a la convección natural externa en la sección de liquido, K/W

- ✚ q_v = calor transferido al aire a través de la sección de vapor, W
- ✚ q_l = calor transferido al aire a través de la sección de liquido, W
- ✚ q_{total} = calor total que se transfiere al aire a través del cuerpo cilíndrico del recipiente a presión, W

Por un balance de energía para el circuito térmico de la figura 4.2 se sabe que:

$$q_t = q_v + q_l \quad 4.7$$

Donde

q_t = calor total transferido, W

q_v = Calor transferido por la sección de vapor, W

q_l = Calor transferido por la sección de liquido, W

Utilizando el concepto de circuito térmico para evaluar el calor para la sección de vapor y la de líquido, y además manipulando las ecuaciones para resistencias térmicas vistas en el capítulo 2; se obtiene que:

$$q_v = \frac{(t_{\infty i} - t_{\infty e})}{\frac{1}{h_{iv} * 2\pi * r_i * l} + \frac{\ln(r_e/r_i)}{2\pi * k_{ac} * l} + \frac{\ln(r_{ais}/r_e)}{2\pi * k_{ais} * l} + \frac{1}{h_{ev} * 2\pi * r_{ais} * l}} \quad 4.8$$

$$q_l = \frac{(t_{\infty i} - t_{\infty e})}{\frac{1}{h_{il} * 2\pi * r_i * l} + \frac{\ln(r_e/r_i)}{2\pi * k_{ac} * l} + \frac{\ln(r_{ais}/r_e)}{2\pi * k_{ais} * l} + \frac{1}{h_{el} * 2\pi * r_{ais} * l}} \quad 4.9$$

Donde

$t_{\infty i}$ = temperatura de saturación del agua a la presión de operación, K

$t_{\infty e}$ = temperatura de aire que rodea al cilindro, K

h_{iv} y h_{ev} = coeficiente de convección en la parte interna de la sección de vapor.

r_i = radio interno del recipiente, m

r_e = radio externo del recipiente, m

r_{ais} = radio del aislante térmico, m

k_{ac} y k_{ais} = coeficientes de conducción para el acero y el aislante Anexo B4 yB5.

l = longitud de la sección de vapor y liquido, m

Las ecuaciones 4.8 y 4.9 fueron deducidas para cilindros que contienen un solo fluido en su parte interna, como por ejemplo vapor de agua o aire caliente, y los rodea o circula el aire ambiente a una temperatura dada. En este caso, en la parte interna del cilindro, como ya se ha mencionado antes, existen dos secciones bien definidas, una parte está ocupada por el líquido y la otra por el vapor y en la parte externa existe aire a temperatura ambiente. Esto nos obliga a calcular las áreas de transferencia de calor para ambas secciones.

A continuación se procederá a calcular dichas áreas:

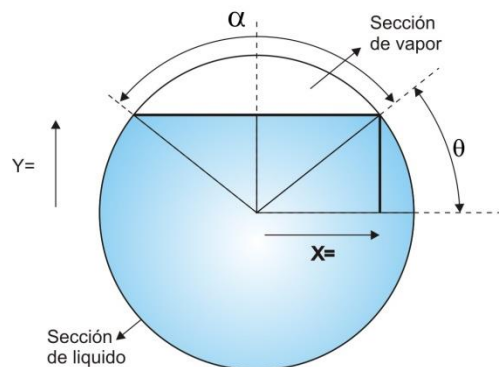


Figura 4.3 Sección transversal de generador de vapor

Planteando la ecuación que define la circunferencia;

$$X^2 + Y^2 = r^2 \quad 4.10$$

Sabemos que la altura máxima que alcanza el nivel del agua en la parte interna del recipiente, medida desde el centro es 4.7 cm (1,8515 in), y que el radio es de 9 cm (3.543 in), se sustituyen estos valores en la ecuación 4.10, obteniendo las coordenadas en el eje de las X:

$$X = \pm 3,02077 \text{ in}$$

Por trigonometría se sabe que:

$$\theta = \arctg\left(\frac{1,8515}{3,02077}\right) = 31.5 \text{ deg}$$

$$a = 180 - 2 * 31.5 = 117 \text{ deg} = 2.042 \text{ rad}$$

Que corresponde al ángulo ocupado por la sección de vapor, para calcular el ángulo que ocupa la sección de líquido se le debe restar a 360 ° este ángulo a ;

$$\varphi = 360 - 117 = 243 \text{ deg} = 4.241 \text{ rad}$$

Tomando en cuenta estas consideraciones y haciendo los correspondientes cambios en las áreas de transferencia de calor en las ecuaciones 4.8 y 4.9, se obtiene finalmente las ecuaciones para calcular el calor trasferido al medio externo por la sección de líquido y vapor respectivamente;

$$q_v = \frac{(t_{\infty i} - t_{\infty e})}{\frac{1}{h_{iv} * r_i * (2.042 \text{ rad}) * l} + \frac{\ln(r_e/r_i)}{(2.042 \text{ rad}) * k_{ac} * l} + \frac{\ln(r_{ais}/r_e)}{(2.042 \text{ rad}) * k_{ais} * l} + \frac{1}{h_{ev} * (2.042 \text{ rad}) * r_{ais} * l}}$$

$$q_l = \frac{(t_{\infty i} - t_{\infty e})}{\frac{1}{h_{il} * (4.241 \text{ rad}) * r_i * l} + \frac{\ln(r_e/r_i)}{(4.241 \text{ rad}) * k_{ac} * l} + \frac{\ln(r_{ais}/r_e)}{(4.241 \text{ rad}) * k_{ais} * l} + \frac{1}{h_{el} * (4.241 \text{ rad}) * r_{ais} * l}}$$

Como podemos observar, para el cálculo de estos calores es necesario conocer la temperatura de saturación para el agua a la presión de operación ($t_{\infty i}$), la cual se

lee en la tabla de compilación de datos termodinámicos, así como también es necesario conocer la temperatura del aire ambiente que rodea el cilindro ($t_{\infty e}$), estos datos son:

$$t_{\infty i} = 403.8^{\circ}K$$

$$t_{\infty e} = 291.15^{\circ}K$$

Conociendo estas temperaturas, se calcula una temperatura promedio, para leer los valores de conductividad térmica para el acero AISI 304 y el aislante térmico en las tablas de los anexos B4 y B5 respectivamente. Estos valores son:

$$k_{ac} = 15,70775 \frac{w}{m \cdot ^{\circ}k}$$

$$k_{ais} = 0,035 \frac{w}{m \cdot ^{\circ}k}$$

Para el cálculo de los coeficientes de convección (h), se aplicará la siguiente ecuación:

$$h = \frac{N_{UD} \cdot k}{D} \quad \text{Ec. 4.10}$$

Donde:

N_{UD} = Numero de Nusselt

k = Conductividad térmica, $\frac{w}{m \cdot ^{\circ}k}$

D = diámetro del cilindro, m

Para el cálculo del número de Nusselt, se aplicara la siguiente ecuación:

$$N_{UD} = \left[0,60 + \frac{0,387 \cdot R_{aLD}^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{1}{4}}} \right]^2 \quad \text{Ec. 4.11}$$

Nota: el numero de Nusselt será calculado con esta relación que es la que corresponde a un cilindro isotérmico en posición horizontal, siempre y cuando se cumpla que $R_{aLD} \leq 1 \cdot 10^{12}$.

Donde

R_{aLD} = Número de Rayleigh

Pr = Número de Prandtl, de Tabla de Anexo

Para el cálculo del número Rayleigh, se aplicara la siguiente ecuación:

$$R_{aLD} = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_{\infty}) \cdot D^3}{\nu \cdot \alpha} \quad \text{Ec. 4.12}$$

Donde

g = Constante de la gravedad, (9,8 m/s²)

β = Coeficiente de expansión, K⁻¹

T_s = Temperatura superficial, °K

T_{∞} = Temperatura ambiente, °K

ν = Viscosidad cinemática, m²/s

α = difusividad térmica, m²/s

D = Diámetro del cilindro, m

• Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección natural para la sección de vapor interior.

En primer lugar se procede a calcular el número Raleigh, haciendo uso de la ecuación 4.12. Para leer de la tabla del apéndice las propiedades del agua los correspondientes valores, es necesario calcular una temperatura, denominada temperatura de película, definida como:

$$T_f = \frac{(T_{siacv} + T_{ooi})}{2} \quad \text{Ec. 4.13.}$$

Para el cálculo de esta temperatura, se hace necesario suponer la temperatura de la superficie de acero en contacto con la sección de vapor, T_{siacv} , una vez conocido el calor, esta temperatura se debe recalcular y así comenzar un proceso iterativo hasta que se logre la convergencia de la temperatura supuesta.

Para empezar se supondrá que: $T_{siacv} = 386.15 \text{ } ^\circ K$

Sustituyendo este valor en la ecuación 4.13, se obtiene:

$$T_f = \frac{(386.15 + 403.8)}{2} = 394.975 \text{ } ^\circ K$$

Luego; de la tabla de propiedades del agua se obtiene:

$Vg = 0.8561225 \text{ m}^3/\text{kg}$; $u_g = 12.8691 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}$; $kg = 26.74775 \cdot 10^{-3} \text{ w/m}\cdot\text{k}$

$Pr_v = 1.02295$

Para el cálculo de los demás valores que no se consiguen en tabla se hace uso de las siguientes ecuaciones:

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{394.975} = 2,5318 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ k^{-1}$$

$$\rho = \frac{1}{v_g} = \frac{1}{0.8561225} = 1.16801 \frac{kg}{m^3}$$

$$v_{vg} = \frac{ug}{\rho} = \frac{12,8691 * 10^{-6}}{1.16801} = 1.10175 * 10^{-5}$$

$$\alpha_{vg} = \frac{v_{vg}}{P_r} = \frac{1.10175 * 10^{-5}}{1.02295} = 1.0771 * 10^{-5}$$

Para calcular el número de Releigh faltaría el diámetro interno del cilindro, pero dado que este contiene en su interior tanto líquido como vapor, no se puede tomar el valor de 7.0866 plg, ya que de esta forma se estaría considerando que en toda la parte interna existe solo vapor de agua, lo cual es falso.

Es por esto que se debe hacer una estimación del volumen ocupado por el vapor, y con esto determinar el diámetro aproximado de un cilindro equivalente para la sección de vapor.

De la figura 4.3 se tiene que el volumen ocupado por la sección de líquido es:

$$V_{liq} = \int_0^{30.31} \int_{-3.543}^{1.8515} \int_{-\sqrt{3.543^2 - y^2}}^{\sqrt{3.543^2 - y^2}} 1 * dx * dy * dz$$

$$V_{liq} = 16 \text{ lts}$$

Luego:

$$V_{vap} = V_{total} - V_{liq}$$

$$V_{total} = \pi * r^2 * l$$

$$V_{total} = 0.0198m^3 = 19,87 \text{ l}$$

Por lo tanto tenemos:

$$V_{vapor} = (19,87 - 16) = 3,875l = 0,003875 m^3$$

Luego, de la ecuación del volumen del cilindro, se puede despejar el radio del cilindro equivalente para la sección ocupada para el vapor:

$$V_{vapor} = 0,003875 m^3 = \pi * r^2 * l$$

$$r = \sqrt{\left(\frac{0.003875}{\pi * 0,769874}\right)} = \pm 0.040026m$$

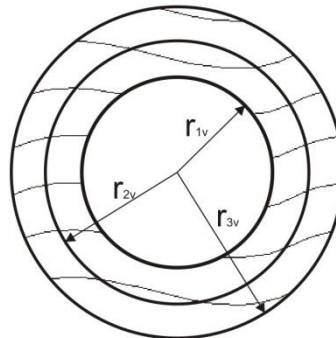


Figura 4.4 Cilindro equivalente para la sección de vapor

De aquí se tiene que:

$$r_{1v} = 0.040026 \text{ m}$$

$$r_{2v} = 0.043201 \text{ m}$$

Considerando un espesor del acero de 1/8 in para el cilindro

NOTA: Para determinar el radio externo del cilindro equivalente (r_{3v}), es necesario asumir el espesor del aislante térmico, para este caso se tomará el espesor de 1 in, ya que este ocupa poco espacio y es bastante comercial. Posteriormente al calcular la cantidad de calor total transferida al exterior, se demostrará que con este espesor se obtienen resultados satisfactorios.

$$r_{3v} = 0.043201 \text{ m} + 0.0254 \text{ m}$$

$$r_{3v} = 0.068601 \text{ m}$$

Sustituyendo los valores antes leídos en tabla y los calculados en la ecuación 4.12, y tomando el diámetro interno del cilindro equivalente para la sección de vapor se obtiene:

$$R_{aLD} = 2.002 * 10^6$$

Luego se sustituye en la ecuación 4.11 y se obtiene:

$$N_{uD} = 18.532$$

Seguidamente se hace uso de la ecuación 4.10, y se calcula el coeficiente de convección en la parte interna de la sección de vapor:

$$h_{iv} = 6.192 \text{ w/m}^2 * \text{k}$$

• **Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección natural para la sección de líquido interior.**

Este cálculo y los sucesivos, se realizarán siguiendo el mismo procedimiento descrito anteriormente.

Para empezar se supondrá que la temperatura de la parte interna del líquido en contacto con el acero será:

$$T_{sil} = 403.3 \text{ } ^\circ K$$

La temperatura a la que se leerán las propiedades del agua líquida en el anexo del apéndice B.2 será:

$$T_{\infty l} = 403.8 \text{ } ^\circ K$$

$$T_{f_{sil}} = 403.55 \text{ } ^\circ K$$

$$V_{il} = 1.07055 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}; \quad u_{il} = 210.965 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}; \quad k_{il} = 688 \cdot 10^{-3} \text{ w/m}\cdot\text{k}$$

$$Pr_{il} = 1.33645$$

Calculando los demás parámetros:

$$\beta = \frac{1}{T_{f_{il}}} = \frac{1}{403.55} = 2.478 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ K^{-1}$$

$$\rho = \frac{1}{v_{il}} = \frac{1}{1.07055 \cdot 10^{-3}} = 934.099 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$v_{vg} = \frac{u_g}{\rho} = \frac{210.965 \cdot 10^{-6}}{934.099} = 2.258 \cdot 10^{-7}$$

$$\alpha_{vg} = \frac{v_{vg}}{Pr} = \frac{2.258 \cdot 10^{-7}}{1.33645} = 1.689 \cdot 10^{-7}$$

El diámetro del cilindro equivalente para la sección del líquido será:

$$V_{liq} = 0.016 \text{ m}^3 = \pi \cdot r^2 \cdot l$$

$$r = \sqrt[2]{\left(\frac{0.016}{\pi \cdot 0,769874}\right)} = \pm 0.08133 \text{ m}$$

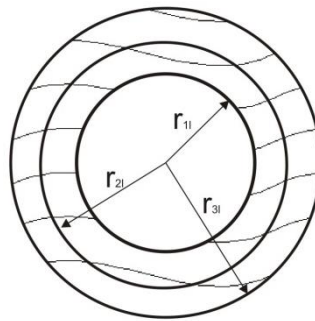


Figura 4.5 Cilindro equivalente para la sección de líquido

De aquí se tiene que:

$$r_{1i}=0.08133 \text{ m}$$

$$r_{2i}=0.084505 \text{ m}$$

$$r_{3i}= r_{2v} + e_{\text{aisl}}$$

$$r_{3i}=0.084505 \text{ m} + 0.0254 \text{ m}$$

$$r_{3i}=0.109905 \text{ m}$$

Sustituyendo los valores antes leídos en tabla, los calculados, y tomando el diámetro interno del cilindro equivalente para la sección de líquido se obtiene:

$$R_{aLd}=1.371 * 10^9$$

Luego se sustituye en la ecuación 4.11 y se obtiene

$$N_{UD}=139.158$$

Seguidamente se hace uso de la ecuación 4.10, y se calcula el coeficiente de convección en la parte interna de la sección de vapor:

$$h_{iL} = 588.593 \frac{w}{m^2 * k}$$

• Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección natural para la sección de vapor exterior.

Suponiendo que la temperatura de la parte externa de la sección de vapor en contacto con el medio ambiente es:

$$T_{sev} = 316,15 \text{ } ^\circ\text{F}$$

La temperatura a la que se leerán las propiedades del aire en el anexo del B3, propiedades termo físicas del aire

$$T_{fseva} = \frac{(T_{sev} + T_{\infty})}{2} = \frac{(316.15 + 291.15)}{2} = 303.65 \text{ } ^{\circ}K$$

$$v_{ve} = 16.26 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}, \quad \mu_{vl} = 186.32 * 10^{-7} \text{ Pa*s} \quad k_{vl} = 26.57 * 10^{-3} \text{ w/m*k}$$

$$Pr = 0.7065$$

$$\beta = \frac{1}{T_{fil}} = \frac{1}{303.65} = 3.29 * 10^{-3} \text{ } ^{\circ}K^{-1}$$

$$\rho = 1.1493 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\alpha = 2.3 * 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Sustituyendo los valores calculados, y tomando el diámetro externo del cilindro equivalente para la sección de vapor se obtiene:

$$R_{ald} = 5,571 * 10^6$$

Luego se sustituye en la ecuación 4.11 y se obtiene

$$N_{UD} = 23,775$$

Seguidamente se hace uso de la ecuación 4.10, y se calcula el coeficiente de convección en la parte externa de la sección de vapor:

$$h_{ev} = 4,604 \frac{\text{w}}{\text{m}^2 * \text{k}}$$

• Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección natural para la sección de líquido exterior

Suponiendo que la temperatura de la parte externa de la sección de líquido en contacto con el medio ambiente es:

$$T_{sel} = 320.15 \text{ K}$$

La temperatura a la que se leerán las propiedades del aire en el anexo del B3, propiedades termo físicas del aire:

$$T_{fseia} = \frac{(T_{sel} + T_{\infty e})}{2} = \frac{(320.15 + 291.15)}{2} = 305.65 \text{ } ^{\circ}K$$

$$v_{le} = 16.459 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}, \quad \mu_{le} = 187.27 * 10^{-7} \text{ Pa*s}, \quad k_{le} = 26.72 * 10^{-3} \text{ w/m*k}$$

$$Pr = 0,70689$$

$$\beta = \frac{1}{T_{fseia}} = \frac{1}{305.65} = 3.27 * 10^{-3} \text{ } ^{\circ}K^{-1}$$

$$\rho = 1,1426 \frac{kg}{m^3}$$

$$\alpha = 2.329 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

Sustituyendo los valores calculados, y tomando el diámetro externo del cilindro equivalente para la sección de vapor se obtiene:

$$R_{aLd} = 2.577 * 10^7$$

Luego se sustituye en la ecuación 4.11 y se obtiene

$$N_{UD} = 37.449$$

Seguidamente se hace uso de la ecuación 4.10, y se calcula el coeficiente de convección en la parte externa de la sección de vapor:

$$h_{el} = 4,552 \frac{w}{m^2 * k}$$

Una vez conocidos los coeficientes de transferencia de calor por convección natural para las distintas zonas, se sustituyen en las ecuaciones 4.8 y 4.9, para obtener:

$$q_v = 16,328 \text{ w}$$

$$q_l = 39,7 \text{ w}$$

El calor total transferido estará representado por la suma del calor trasferido por la sección de líquido y vapor, entonces:

$$q_t = q_v + q_l$$

$$q_t = 56 \text{ w}$$

Tal y como se mencionó, luego de calcular este calor se deben recalculan las temperaturas superficiales supuestas con el fin de lograr la convergencia de dichas temperaturas, para este cálculo igualmente se utiliza el concepto de resistencia térmica y el circuito térmico de la figura 4.2:

$$T_{siv} = T_{\infty i} - \frac{q_v}{h_{iv} * r_i (2.042rad) * l}; T_{siv} = 385.213^\circ k$$

$$T_{sil} = T_{\infty i} - \frac{q_l}{h_{il} * r_i (4.241rad) * l}; T_{sil} = 403.571^\circ k$$

$$T_{sev} = T_{\infty e} + \frac{q_v}{h_{ev} * r_{3v} (2.042rad) * l}; T_{sev} = 315.96^\circ k$$

$$T_{sel} = T_{\infty e} + \frac{q_l}{h_{sel} * r_{3v} (4.241rad) * l}; T_{sel} = 319.239^{\circ}k$$

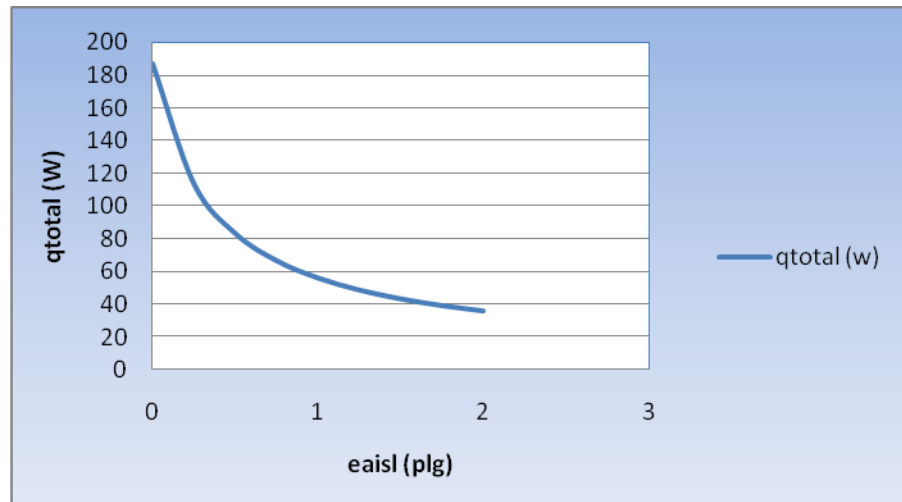
Como las temperaturas supuestas son aproximadamente iguales a las temperaturas calculadas, se detiene el proceso iterativo y el calor total hallado es el definitivo, la convergencia inmediata se debe a que previamente se realizaron varias iteraciones y los resultados de la ultima iteración fueron los utilizados para suponer las temperaturas superficiales, por lo cual solo se muestra este único cálculo.

Ahora con la finalidad de conocer el comportamiento del calor total, en función del espesor del aislante, se supondrá que los coeficientes de transferencia de calor por convección natural son aproximadamente constantes e independientes del espesor del aislante.

Evaluando las ecuaciones 4.7, 4.8 y 4.9 para distintos espesores se obtiene la tabla 4.1, estos datos se encuentran reflejados en el gráfico de la figura 4.3.

Tabla 4.1 Calor total en función del espesor del aislante

Espesor del aislante (plg)	qv (w)	ql (w)	qtotal (w)
0	41.426	145.548	186.974
0,25	29.206	84.345	113.551
0,5	22.858	60.422	83.28
0,75	18.965	47.654	66.619
<u>1</u>	<u>16.329</u>	<u>39.703</u>	<u>56.032</u>
1,25	14.424	34.271	48.695
1,5	12.982	30.319	43.301
1,75	11.851	27.313	39.164
2	10.939	24.947	35.886

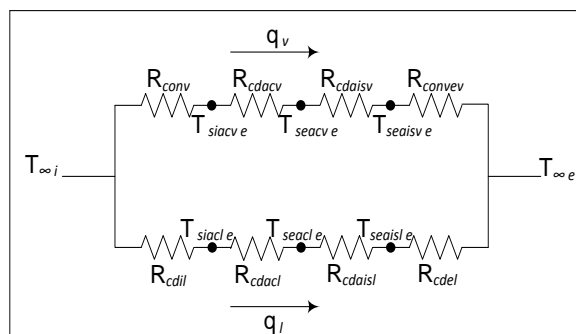


Al analizar la curva mostrada en a figura 4.6, y los resultados de calor perdido para diferentes espesores de aislante; se decide seleccionar 1 pulgada como espesor definitivo, debido a que con el aislante de este grosor se obtiene una relación satisfactoria entre lo que es la perdida de calor y espacio físico ocupado

3.6.1.2. Cabeza elipsoidal

En la figura 4.7 se modela el circuito térmico, que define la forma en que el calor se transfiere al exterior a través de la cabeza elipsoidal del recipiente. Para esto se asumirá que la transferencia de calor por convección es natural o libre.

Figura 4.7 Circuito térmico para cabeza elipsoidal.



Del circuito térmico de la figura 4.7, se tiene que el calor total trasferido a través de la cabeza elipsoidal es:

$$q_{t2} = q_v + q_l \quad \text{Ec. 4.14}$$

Donde

q_{t2} = Calor total transferido a través de la cabeza elipsoidal, W

q_v = Calor transferido por la sección de vapor, W

q_l = Calor transferido por la sección de líquido, W

Utilizando el concepto de circuito térmico para evaluar el calor para la sección de vapor y la de líquido, y además manipulando las ecuaciones para resistencias térmicas planteadas en el capítulo 2; se obtiene que:

$$q_v = \frac{t_{\text{ooi}} - t_{\text{ooe}}}{\frac{1}{h_{iv} \cdot A_{sv}} + \frac{t_{ac}}{k_{ac} \cdot A_{sv}} + \frac{e_{aisl}}{k_{aisl} \cdot A_{sv}} + \frac{1}{h_{ev} \cdot A_{sv}}} \quad \text{Ec. 4.15}$$

$$q_l = \frac{t_{\text{ooi}} - t_{\text{ooe}}}{\frac{1}{h_{il} \cdot A_{sl}} + \frac{t_{ac}}{k_{ac} \cdot A_{sl}} + \frac{e_{aisl}}{k_{aisl} \cdot A_{sl}} + \frac{1}{h_{el} \cdot A_{sl}}} \quad \text{Ec. 4.16}$$

Donde:

h_{iv} y h_{il} = coeficientes de transferencia de calor por convección natural para las secciones de líquido y vapor respectivamente en la parte interna.

t_{ac} = espesor de cabeza elipsoidal del acero

e_{aisl} = Espesor del aislante térmico

k_{ac} y k_{aisl} = Conductividad térmica para el acero y el aislante térmico a una temperatura dada.

A_{sv} y A_{sl} = Área de transferencia de calor para las secciones de líquido y vapor.

Nota: Para el cálculo del calor transferido a través de la cabeza elipsoidal, se asumirá que ésta posee un área aproximada a la de una tapa plana.

Calculando las áreas respectivas para la sección de líquido y vapor se tiene que;

$$A_{sl} = \int_{-3.543}^{1.8515} \int_{-\sqrt{3.543^2 - y^2}}^{\sqrt{3.543^2 - y^2}} 1 * dx * dy$$

$$A_{sl} = 32.213 \text{ in}^2$$

$$A_{sl} = 0.0207825 \text{ m}^2$$

$$A_{sv} = A_{stotal} - A_{sl}$$

$$A_{sv} = 0.02582 - 0.0207825$$

$$A_{sv} = 0.005034 \text{ m}^2$$

Como ya se indicó anteriormente, el espesor del acero es: $t_{ac} = 1/8 \text{ plg}$

Una vez calculado el espesor del aislante, para el cuerpo cilíndrico, se toma este valor para el cálculo del calor transferido en la cabeza elipsoidal.

$$e_{aisl} = 1 \text{ plg} = 0,0254 \text{ m}$$

Como podemos observar en las ecuaciones 4.15 y 4.16, para el cálculo de los calores es necesario conocer la temperatura de saturación para el agua a la presión de operación ($t_{\infty i}$), la cual se lee en la tabla de compilación de datos termodinámicos, y la temperatura del aire que rodea el cilindro ($t_{\infty e}$):

$$t_{\infty i} = 403.8^\circ K$$

$$t_{\infty e} = 291.15^\circ K$$

Conociendo estas temperaturas, se calcula una temperatura promedio, para leer los valores de conductividad térmica para el acero y el aislante térmico en las tablas de los anexos B4 y B5 respectivamente. Estos valores son:

$$k_{ac} = 15,70775 \frac{w}{m * ^\circ k}$$

$$k_{ais} = 0,035 \frac{w}{m * ^\circ k}$$

Para el cálculo de los coeficientes de convección (h), se aplicará la siguiente ecuación:

$$h = \frac{N_{UD} * k}{L} \quad \text{Ec. 4.17}$$

Donde:

N_{UD} = Numero de Nusselt

k = Conductividad térmica, $\frac{w}{m * ^\circ k}$

L = Longitud característica del cilindro, m

La longitud característica (L), se define como el cociente entre el área de transferencia de calor y el perímetro, por lo tanto para la sección de vapor tenemos que:

$$L_v = \frac{A_{sv}}{P} = \frac{0.005034}{(2.042 \text{ rad}) * 0.09 + 0.153454} = 0.014927$$

Análogamente para la sección de líquido tenemos que:

$$L_l = \frac{A_{sl}}{P} = \frac{0.0207825}{(4.241rad) * 0.09 + 0.153454} = 0.03884$$

Para el cálculo del número de Nusselt, se aplicaran las correlaciones que corresponden a una placa vertical:

$$N_{UD} = \left[0,825 + \frac{0,387 * Ra_{LD}^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2 \quad \text{Si } Ra > 10^9 \quad \text{Ec. 4.18}$$

$$N_{UD} = \left[0,68 + \frac{0,670 * Ra_{LD}^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{4}{9}}} \right]^2 \quad \text{Si } Ra > 10^9 \quad \text{Ec. 4.19}$$

Para el cálculo del número Rayleigh, se aplicara la siguiente ecuación:

$$R_{aLD} = \frac{g * \beta * (T_s - T_{\infty}) * L^3}{\nu * \alpha} \quad \text{Ec. 4.20}$$

Donde

g = Constante de la gravedad, (9,8 m/s²)

β = Coeficiente de expansión, K⁻¹

T_s = Temperatura superficial, °K

T_{∞} = Temperatura ambiente, °K

ν = Viscosidad cinemática, m²/s

α = difusividad térmica, m²/s

L = Longitud característica del cilindro, m

• Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección natural para la sección de vapor interior.

En primer lugar se procede a calcular el número Rayleigh, haciendo uso de la ecuación 4.20. Para empezar se supondrá que:

$$T_{siv} = 393.15 \text{ } ^\circ K$$

Entonces la temperatura de película es:

$$T_f = \frac{(393.15 + 403.8)}{2} = 398.475^\circ K$$

Luego; de la tabla de propiedades del agua se obtiene:

$$v_g=0.76897 \text{ m}^3/\text{kg}; \quad u_g = 12.9951 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s} \quad ; \quad k_g = 27.06275 \cdot 10^{-3} \text{ w/m}\cdot\text{k}$$

$$Pr_v=1.02995$$

Para el cálculo de los demás valores que no se consiguen en tabla se hace uso de las siguientes ecuaciones:

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{398.475} = 2,50957 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$$

$$\rho = \frac{1}{v_g} = \frac{1}{0,76897} = 1,30044 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$v_{vg} = \frac{u_g}{\rho} = \frac{12,9951 \cdot 10^{-6}}{1,30044} = 9.9928 \cdot 10^{-6}$$

$$\alpha_{vg} = \frac{\mu_{vg}}{Pr_v} = \frac{9.9928 \cdot 10^{-6}}{1,02995} = 9.70225 \cdot 10^{-6}$$

Sustituyendo los valores antes leídos en tabla y los calculados en la ecuación 4.20, y tomando la longitud del cilindro equivalente para la sección de vapor se obtiene:

$$Ra_{LD}=89920$$

Luego se sustituye en la ecuación 4.11 y se obtiene:

$$Nu_D=5.889$$

Seguidamente se hace uso de la ecuación 4.10, y se calcula el coeficiente de convección en la parte interna de la sección de vapor:

$$h_{iv}=10.676 \text{ w/m}^2\cdot\text{k}$$

• **Calculo del coeficiente de transferencia de calor por convección natural para la sección de líquido interior.**

Este cálculo y los sucesivos, se realizarán siguiendo el mismo procedimiento descrito anteriormente.

Para empezar se supondrá que la temperatura de la parte interna del líquido en contacto con el acero será:

$$T_{sil}= 403.20 \text{ }^\circ\text{K}$$

La temperatura a la que se leerán las propiedades del agua líquida en el anexo del apéndice B.2 será:

$$T_{fsil}= 403.5^\circ\text{K}$$

$$v_{il} = 1,0705 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg} ; u_{il} = 211.05 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}; k_{il} = 688 \cdot 10^{-3} \text{ w/m}\cdot\text{k};$$

$$Pr_{il} = 1,305$$

Calculando los siguientes parámetros tenemos:

$$\beta = \frac{1}{T_{fsil}} = \frac{1}{403.5} = 2,4783 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$$

$$\rho = \frac{1}{v_{il}} = \frac{1}{1.0705 \cdot 10^{-3}} = 934.143 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu_{vl} = \frac{u_{il}}{\rho} = \frac{211.05 \cdot 10^{-6}}{934.143} = 2.2593 \cdot 10^{-7}$$

$$\alpha_{vl} = \frac{\mu_{vl}}{Pr} = \frac{2,2593 \cdot 10^{-7}}{1.305} = 1,73125 \cdot 10^{-7}$$

Sustituyendo los valores antes leídos en tabla y los calculados para la sección de líquido interno en la ecuación 4.25 se obtiene;

$$Ra_{LD} = 1.092 \cdot 10^7$$

Luego se sustituye en la ecuación 4.11 que es la correlación correcta para este caso, se obtiene:

$$Nu_D = 32.132$$

Seguidamente se hace uso de la ecuación 4.10, y se calcula el coeficiente de convección en la parte interna de la sección de líquido:

$$h_{iv} = 569.17 \text{ w/m}^2\cdot\text{k}$$

• Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección natural para la sección de vapor exterior.

Suponiendo que la temperatura de la parte externa de la sección de vapor en contacto con el medio ambiente es:

$$T_{sev} = 311.52 \text{ } ^\circ\text{K}$$

La temperatura a la que se leerán las propiedades del aire en la tabla correspondiente será:

$$T_{fsev} = \frac{(T_{sev} + T_{\infty})}{2} = \frac{(311.52 + 291.15)}{2} = 301.335 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$v_{ve} = 16.0243 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}; \mu_{v/} = 185.2301 \cdot 10^{-7} \text{ Pa}\cdot\text{s}; k_{v/} = 26.3988 \cdot 10^{-3} \text{ w/m}\cdot\text{k}$$

$$Pr = 0.70681$$

$$\beta = \frac{1}{T_{fsev}} = \frac{1}{301.335} = 3.3185 * 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$$

$$\rho = 1.1569 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\alpha = 2.2652 * 10^{-5}$$

Sustituyendo los valores calculados, y tomando el diámetro externo del cilindro equivalente para la sección de vapor se obtiene:

$$R_{aLd} = 6.074 * 10^3$$

Luego se sustituye en la ecuación 4.11 y se obtiene

$$N_{UD} = 5.218$$

Seguidamente se hace uso de la ecuación 4.10, y se calcula el coeficiente de convección en la parte externa de la sección de vapor:

$$h_{ev} = 9.227 \text{ w/m}^2\text{*k}$$

• Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección natural para la sección de líquido exterior

Suponiendo que la temperatura de la parte externa de la sección de líquido en contacto con el medio ambiente es:

$$T_{sel} = 315.5 \text{ K}$$

La temperatura a la que se leerán las propiedades del aire en el anexo del B3, propiedades termo físicas del aire:

$$T_{fseia} = \frac{(T_{sel} + T_{\infty e})}{2} = \frac{(315.5 + 291.15)}{2} = 303.325 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$v_{le} = 16.2245 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}; \mu_{le} = 186.1694 * 10^{-7} \text{ Pa*s}; k_{le} = 26.5461 * 10^{-3} \text{ w/m*k}$$

$$Pr = 0,70654$$

$$\beta = \frac{1}{T_{fseia}} = \frac{1}{303.325} = 3.2967 * 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$$

$$\rho = 1,15033 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\alpha = 2.2906 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

Sustituyendo los valores calculados, y tomando el diámetro externo del cilindro equivalente para la sección de vapor se obtiene:

$$R_{aLd} = 1.241 \cdot 10^5$$

Luego se sustituye en la ecuación 4.11 y se obtiene

$$N_{UD} = 10.327$$

Seguidamente se hace uso de la ecuación 4.10, y se calcula el coeficiente de convección en la parte externa de la sección de vapor:

$$h_{el} = 7.058 \text{ w/m}^2 \cdot \text{k}$$

Una vez conocidos los coeficientes de transferencia de calor por convección natural para las distintas zonas, se sustituyen en las ecuaciones 4.8 y 4.9, para obtener:

$$q_v = 0.611 \text{ w}$$

$$q_l = 2.526 \text{ w}$$

El calor total transferido estará representado por la suma del calor trasferido por la sección de líquido y vapor, entonces:

$$q_2 = q_v + q_l$$

$$q_2 = 3.137 \text{ w}$$

Tal y como se mencionó, luego de calcular este calor se deben recalculan las temperaturas superficiales supuestas con el fin de lograr la convergencia de dichas temperaturas, para este cálculo igualmente se utiliza el concepto de resistencia térmica y el circuito térmico de la figura 4.2:

$$T_{siv} = T_{\infty i} - \frac{q_v}{h_{iv} * r_i(2.042rad) * l}; T_{siv} = 392.429^\circ k$$

$$T_{sil} = T_{\infty i} - \frac{q_l}{h_{il} * r_i(4.241rad) * l}; T_{sil} = 403.586^\circ k$$

$$T_{sev} = T_{\infty e} + \frac{q_v}{h_{ev} * r_{3v}(2.042rad) * l}; T_{sev} = 311.307^\circ k$$

$$T_{sel} = T_{\infty e} + \frac{q_l}{h_{el} * r_{3v}(4.241rad) * l}; T_{sel} = 315.368^\circ k$$

Como las temperaturas supuestas son aproximadamente iguales a las temperaturas calculadas, se detiene el proceso iterativo y el calor total hallado es el definitivo, la convergencia inmediata se debe a que previamente se

realizaron varias iteraciones y los resultados de la ultima iteración fueron los utilizados para suponer las temperaturas superficiales, por lo cual solo se muestra este único cálculo.

3.6.1.3. Tapa plana

En la figura 4.8 se modela el circuito térmico, que define la forma en que el calor se transfiere al exterior a través de la tapa plana del recipiente. Para esto se asumirá que la transferencia de calor por convección es natural o libre.

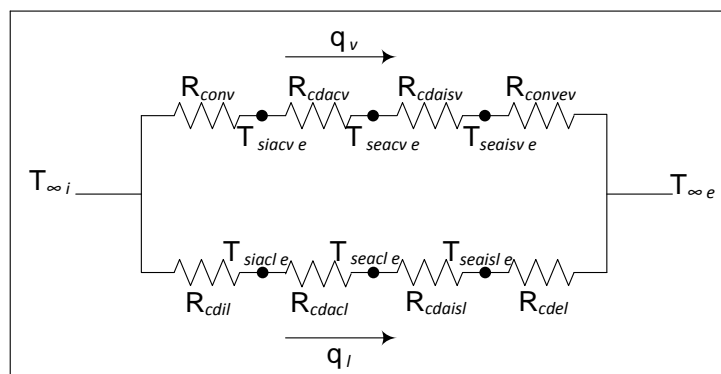


Figura 4.8 Circuito térmico para la tapa plana

Del circuito térmico de la figura 4.8, se tiene que el calor total trasferido a través de la tapa plana es:

$$q_{t3} = q_v + q_l \quad \text{Ec. 4.26}$$

Donde

q_{t3} = Calor total transferido a través de la tapa plana, W

q_v = Calor transferido por la sección de vapor, W

q_l = Calor transferido por la sección de líquido, W

Utilizando el concepto de circuito térmico para evaluar el calor para la sección de vapor y la de líquido, y además manipulando las ecuaciones para resistencias 2.22 y 2.24; se obtiene que:

$$q_v = \frac{t_{\infty i} - t_{\infty e}}{\frac{1}{h_{iv} * A_{sv}} + \frac{t_{Br}}{k_{Br} * A_{sv}} + \frac{e_{aisl}}{k_{aisl} * A_{sv}} + \frac{1}{h_{ev} * A_{sv}}} \quad \text{Ec. 4.15}$$

$$q_l = \frac{t_{ooi} - t_{ooe}}{\frac{1}{h_{il} \cdot A_{sl}} + \frac{t_{Br}}{k_{Br} \cdot A_{sl}} + \frac{e_{aisl}}{k_{aisl} \cdot A_{sl}} + \frac{1}{h_{el} \cdot A_{sl}}} \quad \text{Ec. 4.16}$$

Donde:

h_{iv} y h_{il} = coeficientes de transferencia de calor por convección natural para las secciones de liquido y vapor respectivamente en la parte interna.

T_{Br} = espesor de la tapa plana de bronce comercial

e_{aisl} = Espesor del aislante térmico

k_{Br} y k_{aisl} = Conductividad térmica para el bronce comercial y el aislante térmico a una temperatura dada.

A_{sv} y A_{sl} = Área de transferencia de calor para las secciones de liquido y vapor.

Las áreas de transferencia de calor son las mismas que las calculadas para la cabeza elipsoidal superior, por lo tanto;

$$A_{sl} = 0.0207825 \text{ m}^2$$

$$A_{sv} = 0.005034 \text{ m}^2$$

El espesor de la tapa plana es;

$$T_{Br} = 1.8999 \times 10^{-2} \text{ m}$$

Se tomara el mismo valor de espesor de aislante térmico para el cálculo del calor transferido a través de la tapa plana;

$$e_{aisl} = 1 \text{ plg} = 0,0254 \text{ m}$$

La conductividad térmica para el bronce comercial según tabla de apéndice es;

$$K_{Br} = 49.5489$$

En este caso se usaran las mismas ecuaciones para el cálculo del número de Nusseld, Releight, y coeficiente de convección, que las usadas para la cabeza elipsoidal.

- Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección natural para la sección de vapor interior.

En primer lugar se procede a calcular el número Releight, haciendo uso de la ecuación 4.20. Para empezar se supondrá que:

$$T_{siv} = 393.65 \text{ } ^\circ K$$

Entonces la temperatura de película es:

$$T_f = \frac{(393.65 + 403.8)}{2} = 398.725 \text{ } ^\circ K$$

Luego; de la tabla de propiedades del agua se obtiene:

$$v_g = 0.76275 \text{ m}^3/\text{kg} ; u_g = 13.0041 * 10^{-6} \text{ Pa*s}; k_g = 27.08525 * 10^{-3} \text{ w/m*k}$$

$$Pr_v = 1.03045$$

Para el cálculo de los demás valores que no se consiguen en tabla se hace uso de las siguientes ecuaciones:

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{398.725} = 2,50799 * 10^{-3} \text{ } ^\circ k^{-1}$$

$$\rho = \frac{1}{v_g} = \frac{1}{0,76275} = 1.311045 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$v_{vg} = \frac{u_g}{\rho} = \frac{13.0041 * 10^{-6}}{1,311045} = 9.9188 * 10^{-6}$$

$$\alpha_{vg} = \frac{\mu_{vg}}{Pr_v} = \frac{9.9188 * 10^{-6}}{1,03045} = 9.6258 * 10^{-6}$$

Sustituyendo los valores antes leídos en tabla y los calculados en la ecuación 4.20, y tomando la longitud del cilindro equivalente para la sección de vapor se obtiene:

$$Ra_{LD} = 8697$$

Luego se sustituye en la ecuación 4.11 y se obtiene:

$$Nu_{iD} = 5.845$$

Seguidamente se hace uso de la ecuación 4.10, y se calcula el coeficiente de convección en la parte interna de la sección de vapor:

$$h_{iv} = 10.607 \text{ w/m}^2 \cdot \text{k}$$

- **Calculo del coeficiente de transferencia de calor por convección natural para la sección de líquido interior.**

Para empezar se supondrá que la temperatura de la parte interna del líquido en contacto con el acero será:

$$T_{sil} = 403.65 \text{ } ^\circ\text{K}$$

La temperatura a la que se leerán las propiedades del agua líquida en el anexo del apéndice B.2 será:

$$T_{fsil} = 403.725 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$v_{il} = 1.070725 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg} \quad ; \quad u_{il} = 210.6675 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s} \quad ; \quad k_{il} = 688 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}\cdot\text{k} \quad ;$$

$$Pr_{il} = 1.30725$$

Calculando los siguientes parámetros tenemos:

$$\beta = \frac{1}{T_{fsil}} = \frac{1}{403.725} = 2,4769 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$$

$$\rho = \frac{1}{v_{il}} = \frac{1}{1.070725 \cdot 10^{-3}} = 933.9466 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu_{vl} = \frac{u_{il}}{\rho} = \frac{210.6675 \cdot 10^{-6}}{933.9466} = 2.2556 \cdot 10^{-7}$$

$$\alpha_{vl} = \frac{\mu_{vl}}{Pr} = \frac{2,2556 \cdot 10^{-7}}{1.30725} = 1,7255 \cdot 10^{-7}$$

Sustituyendo los valores antes leídos en tabla y los calculados para la sección de líquido interno en la ecuación 4.25 se obtiene;

$$Ra_{LD} = 5.485 \cdot 10^6$$

Luego se sustituye en la ecuación 4.11 que es la correlación correcta para este caso, se obtiene:

$$Nu_D = 27.161$$

Seguidamente se hace uso de la ecuación 4.10, y se calcula el coeficiente de convección en la parte interna de la sección de líquido:

$$h_{iv} = 481.119 \text{ W/m}^2\cdot\text{k}$$

• **Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección natural para la sección de vapor exterior.**

Suponiendo que la temperatura de la parte externa de la sección de vapor en contacto con el medio ambiente es:

$$T_{sev} = 311.6995 \text{ } ^\circ\text{k}$$

La temperatura a la que se leerán las propiedades del aire en la tabla correspondiente será:

$$T_{fsev} = \frac{(T_{sev} + T_{\infty})}{2} = \frac{(311.6995 + 291.15)}{2} = 301.4247 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$\nu_{ve} = 16.0333 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}; \mu_{vl} = 185.2724 \cdot 10^{-7} \text{ Pa}\cdot\text{s}; k_{vl} = 26.4054 \cdot 10^{-3} \text{ w/m}\cdot\text{k}$$

$$\text{Pr} = 0.7068$$

$$\beta = \frac{1}{T_{fsev}} = \frac{1}{301.4247} = 3.3175 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{k}^{-1}$$

$$\rho = 1.1566 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\alpha = 2.2663 \cdot 10^{-5}$$

Sustituyendo los valores calculados, y tomando el diámetro externo del cilindro equivalente para la sección de vapor se obtiene:

$$R_{ald} = 6.12 \cdot 10^3$$

Luego se sustituye en la ecuación 4.11 y se obtiene

$$N_{UD} = 5.226$$

Seguidamente se hace uso de la ecuación 4.10, y se calcula el coeficiente de convección en la parte externa de la sección de vapor:

$$h_{ev} = 9.245 \text{ w/m}^2\cdot\text{k}$$

• **Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección natural para la sección de líquido exterior**

Suponiendo que la temperatura de la parte externa de la sección de líquido en contacto con el medio ambiente es:

$$T_{sel} = 315.85 \text{ K}$$

La temperatura a la que se leerán las propiedades del aire en la tabla correspondiente será:

$$T_{fsele} = \frac{(T_{sel} + T_{\infty e})}{2} = \frac{(315.85 + 291.15)}{2} = 303.5^{\circ}K$$

$$v_{le} = 16.2421 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}; \mu_{le} = 186.252 \cdot 10^{-7} \text{ Pa}\cdot\text{s}; k_{le} = 26.559 \cdot 10^{-3} \text{ w/m}\cdot\text{k}$$

$$\text{Pr} = 0,70651$$

$$\beta = \frac{1}{T_{fsele}} = \frac{1}{303.5} = 3.2948 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}K^{-1}$$

$$\rho = 1,149752 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\alpha = 2.2928 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

Sustituyendo los valores calculados, y tomando el diámetro externo del cilindro equivalente para la sección de vapor se obtiene:

$$R_{aLd} = 1.238 \cdot 10^5$$

Luego se sustituye en la ecuación 4.11 y se obtiene

$$N_{UD} = 10.321$$

Seguidamente se hace uso de la ecuación 4.10, y se calcula el coeficiente de convección en la parte externa de la sección de vapor:

$$h_{el} = 7.057 \text{ w/m}^2\cdot\text{k}$$

Una vez conocidos los coeficientes de transferencia de calor por convección natural para las distintas zonas, se sustituyen en las ecuaciones 4.8 y 4.9, para obtener:

$$q_v = 0.611 \text{ w}$$

$$q_l = 2.524 \text{ w}$$

El calor total transferido estará representado por la suma del calor trasferido por la sección de líquido y vapor, entonces:

$$q_3 = q_v + q_l$$

$$q_3 = 3.135 \text{ w}$$

Tal y como se mencionó, luego de calcular este calor se deben recalculan las temperaturas superficiales supuestas con el fin de lograr la convergencia de dichas temperaturas, para este cálculo igualmente se utiliza el concepto de resistencia térmica y el circuito térmico de la figura 4.2:

$$T_{siv} = T_{\infty i} - \frac{q_v}{h_{iv} * r_i(2.042rad) * l}; T_{siv} = 393.362^{\circ}k$$

$$T_{sil} = T_{\infty i} - \frac{q_l}{h_{il} * r_i(4.241rad) * l}; T_{sil} = 403.548^{\circ}k$$

$$T_{sev} = T_{\infty e} + \frac{q_v}{h_{ev} * r_{3v}(2.042rad) * l}; T_{sev} = 311.273^{\circ}k$$

$$T_{sel} = T_{\infty e} + \frac{q_l}{h_{el} * r_{3v}(4.241rad) * l}; T_{sel} = 315.36^{\circ}k$$

Como las temperaturas supuestas son aproximadamente iguales a las temperaturas calculadas, se detiene el proceso iterativo y el calor total hallado es el definitivo, la convergencia inmediata se debe a que previamente se realizaron varias iteraciones y los resultados de la ultima iteración fueron los utilizados para suponer las temperaturas superficiales, por lo cual solo se muestra este único cálculo.

3.7. Cálculo del calor total que se transfiere a través del recipiente generador de vapor

Finalmente con todos los valores de calor calculados para el casco cilíndrico (q_1), cabeza elipsoidal (q_2), y tapa plana (q_3), se halla la pérdida total de calor para todo el recipiente a presión, esto es:

$$q_{total} = q_1 + q_2 + q_3$$

$$q_{total} = 62,3 \text{ w}$$

Este valor q_{total} , representa en porcentaje con respecto al total de la potencia disipada por los elementos calefactores un valor de:

$$\%q_{transferido} = \frac{q_{total}}{Q_{real}} * 100$$

$$\%q_{transferido} = 0,7788$$

3.8. Aplicación de los sistemas de control del equipo

Antes de proponer el sistema de control, es necesario plantear cuales son las operaciones que se hacen antes, durante y después de cada proceso. Así como también si queremos un sistema automático o semi automático.

A continuación se procederá a hacer una descripción lógica y ordenada de pasos a seguir por el operador durante un proceso de esterilización, posteriormente se presentará el diagrama de bloques que muestra la interacción entre los diferentes instrumentos que harán posible la ejecución automática de las diferentes acciones.

El operador desde el tablero de control oprime el botón de encendido, este energiza el control de nivel del generador de vapor, si el nivel no es el máximo, se enciende la bomba que hace el llenado, haciendo la succión desde el tanque de alimentación. Una vez que el nivel llega al máximo, el control de nivel des-energiza el motor de la bomba y envía la señal al contactor del banco de resistencias para energizarlo, es así como empieza el proceso de generación de vapor.

Una vez alcanzada la presión de 30 PSI en el generador de vapor, el operador procederá a cerrar la puerta de la cámara de esterilización, con esto hará que el sensor de presión de la puerta energice dos temporizadores, uno de ellos estará calibrado con el tiempo de esterilización (30 min) colocado por el operador, y el otro estará calibrado con un tiempo estándar de 10 min de secado, una vez transcurrido este tiempo se energiza la válvula solenoide de carga, iniciando así el llenado del vapor, esto traerá como consecuencia que la presión en el generador de vapor descienda, una vez que esta llegue a 30 PSI, el presostato deberá mandar a cerrar la válvula solenoide de carga, mientras que el control de nivel enciende la bomba si el nivel llega a el mínimo. Luego de transcurrido un cierto tiempo se alcanzara la temperatura de 125 ° C en la cámara de esterilización, accionando el control de temperatura que mandará a cerrar la válvula solenoide de carga, abriendo sus contactos, de este momento en adelante la válvula solenoide de carga estará gobernada por el control de temperatura, actuando para mantener un rango de (121-125) ° C en el interior de las cámara de esterilización.

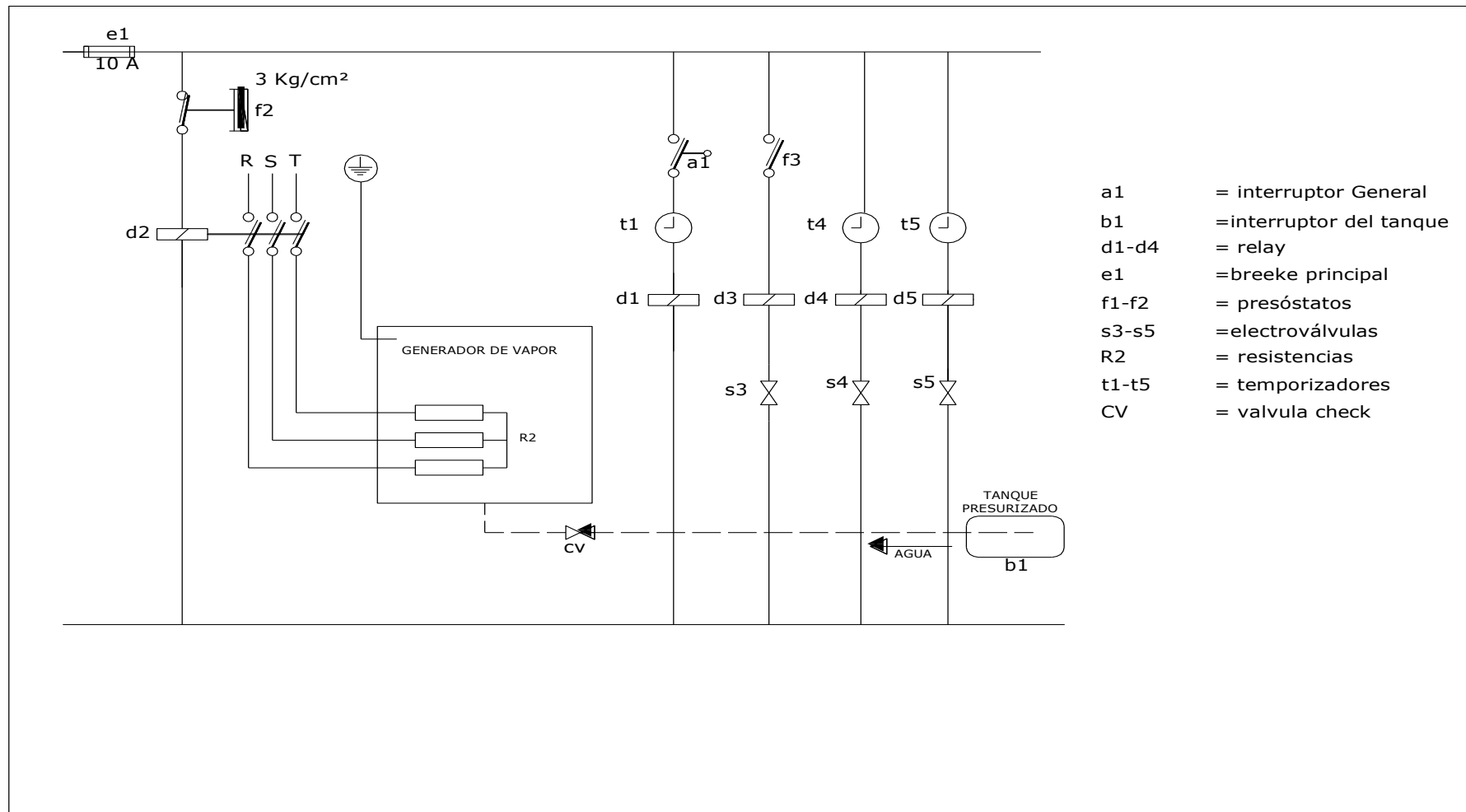
Una vez transcurrido el tiempo de esterilización, se desenergiza el presostato del generador de vapor, y se energiza la válvula solenoide de descarga, es así como se inicia

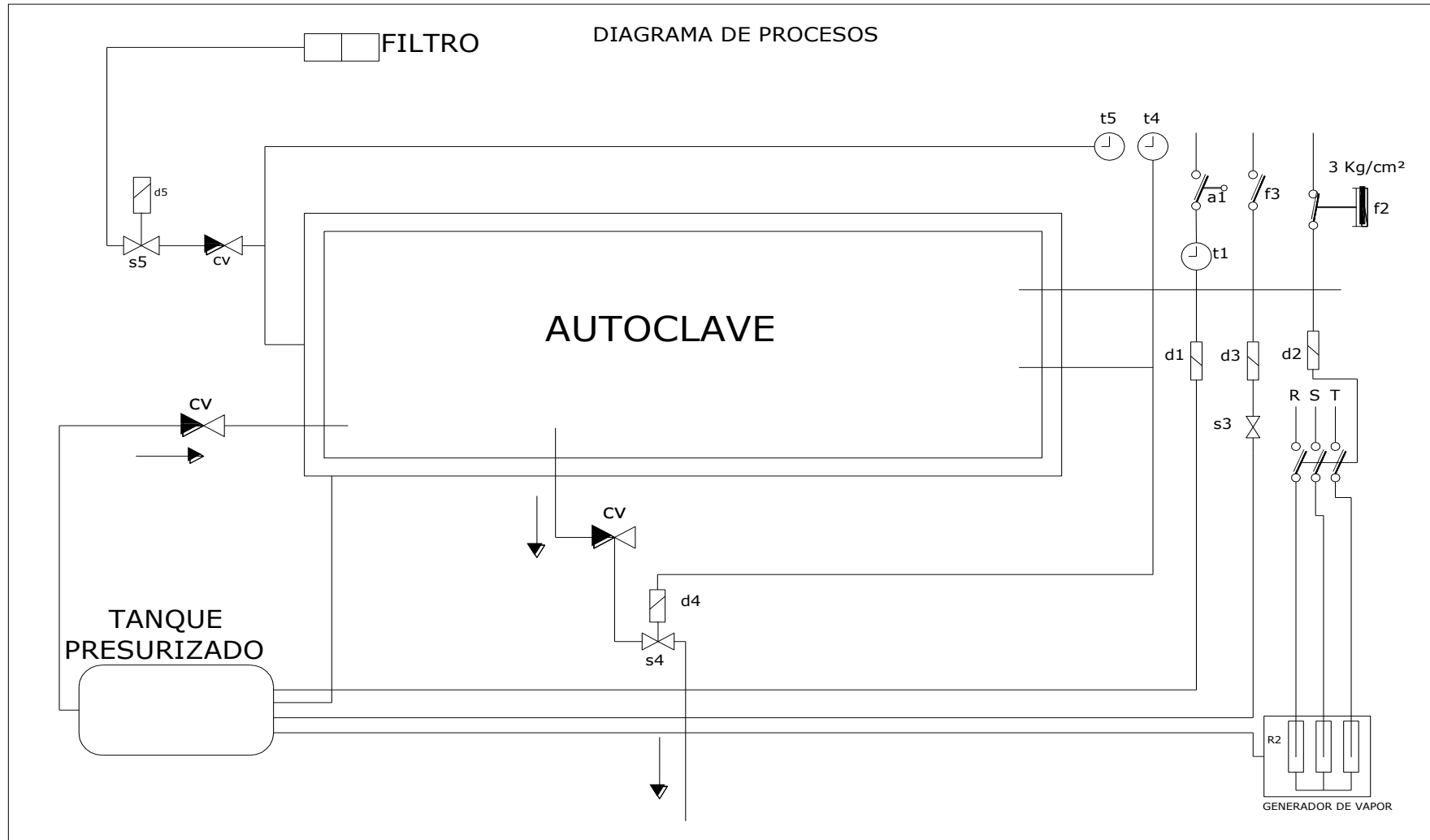
el proceso de enfriamiento, el cual teóricamente debe ser igual al tiempo de esterilización, luego se igualan las presiones interna y externa mediante la válvula manual del tablero, se procede a abrir la puerta de la cámara y se saca la carga, finalizando el proceso.

Finalizado el proceso la generación de vapor continua y que luego es controlada por un segundo control de presión instalado que empieza a actuar una vez finalizado el tiempo de esterilización, esto permitirá contar con una reserva constante de vapor para el inicio del siguiente ciclo de esterilización.

El control de nivel, la bomba, y el banco de resistencias funcionara hasta que el operador manipule el botón de on-off del tablero de control.

DIAGRAMA UNIFILAR





VERIFICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO

4.1. Prueba Eléctrica

Al finalizar todas las instalaciones mecánicas del generador de vapor, se procedió a conectar todos los componentes eléctricos del sistema. Con el fin de constatar el correcto funcionamiento del sistema eléctrico en frío, se midieron las continuidades eléctricas de los cables entre un punto y otro, además de comprobar el correcto aislamiento de la carcasa metálica del equipo, todo esto se realizó empleando un multímetro digital.

Posteriormente se llenó de agua el tanque de alimentación y se dio arranque por primera vez al motor eléctrico de la bomba de alimentación, este procedimiento sirvió también para comprobar el funcionamiento del sistema de control de nivel para líquidos conductores y el contactor bipolar de la bomba. Con el uso de una pinza amperimétrica digital se evaluó la corriente eléctrica requerida por el motor de la bomba la cual correspondía a 4.7 A, observándose que se satisface el cálculo realizado, en donde la corriente es de 5,3A.

Para finalizar las pruebas eléctricas, una vez llenado con agua el recipiente a presión, se energizó el banco de resistores e inmediatamente se midieron las corrientes de línea, correspondiéndose a un promedio de 4A por línea, coincidiendo aproximadamente con el calculado teóricamente que fue de 4,2 A.

Además, se permitió presurizar el recipiente de tal manera de comprobar el funcionamiento del control de presión (presostato), el cual actuó de forma eficaz al enviar la señal de control sobre el contactor de la válvula solenoide de carga, energizándola luego de haber cerrado la puerta de la cámara de esterilización, así como también se comprobó el correcto funcionamiento de los temporizadores instalados y el control de temperatura.

4.2. Prueba tiempo de esterilización

Estando el equipo totalmente instalado, y probado el funcionamiento de sus sistemas eléctricos y mecánicos, se permitió al generador presurizarse, en este proceso se tomó el tiempo empleado por el sistema de calentamiento, para llevar el agua desde el estado inicial (condiciones ambientales), hasta la presión máxima de trabajo fijada, que según el diseño es de 30 psi manométricos, este tiempo fue de 25 minutos, el valor correspondiente calculado teóricamente es de 9,45 minutos,

Capítulo IV VERIFICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO

obteniéndose un error absoluto del 62.2%. La gran diferencia existente entre el tiempo teórico y el real se debe a que el banco de resistencias usado tiene una eficiencia mucho menor al 80 % valor asumido para el cálculo, dando muestra de el largo uso anterior a que fueron sometidas.

4.3. Pruebas para verificar la temperatura alcanzada en la cámara de esterilización

Finalmente el equipo esterilizador fue encendido, Con el fin de constatar las condiciones del vapor presente en el generador. Se realizaron las medidas correspondientes de temperatura y tiempo con el empleo del temporizador instalado en el tablero y el visor de temperatura con que cuenta el control de temperatura. Esta prueba se realizó durante ½ hora tomando el tiempo en minutos y la temperatura en grados Celsius (°C), así como también se consideraron dos condiciones: sin precalentar la cámara de esterilización y precalentando la cámara de esterilización, conociéndose el comportamiento en el tiempo de dicha variable. Los resultados obtenidos se detallan en la tabla 5.1 y 5.2 y se representan en el gráfico de la figura 5.1.

Tabla 5.1 Comportamiento de la temperatura dentro de la cámara de esterilización sin precalentamiento ($T_0 = 25\text{ °C}$).

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)
0	21	16	103
1	50	17	105
2	55	18	105
3	61	19	110
4	67	20	112
5	71	21	113
6	78	22	114
7	82	23	116
8	85	24	120
9	87	25	122
10	90	26	123
11	91	27	124
12	93	28	124
13	94	29	124
14	98	30	125
15	101	—	—

Capítulo IV VERIFICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO

Tabla 5.2 Comportamiento de la temperatura dentro de la cámara de esterilización con precalentamiento ($T_0 = 55\text{ °C}$).

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)
0	55	16	116
1	74	17	120
2	77	18	122
3	82	19	123
4	86	20	123
5	89	21	123
6	93	22	124
7	95	23	124
8	98	24	125
9	101	25	124
10	103	26	125
11	105	27	125
12	108	28	125
13	110	29	125
14	113	30	125
15	115	-	-

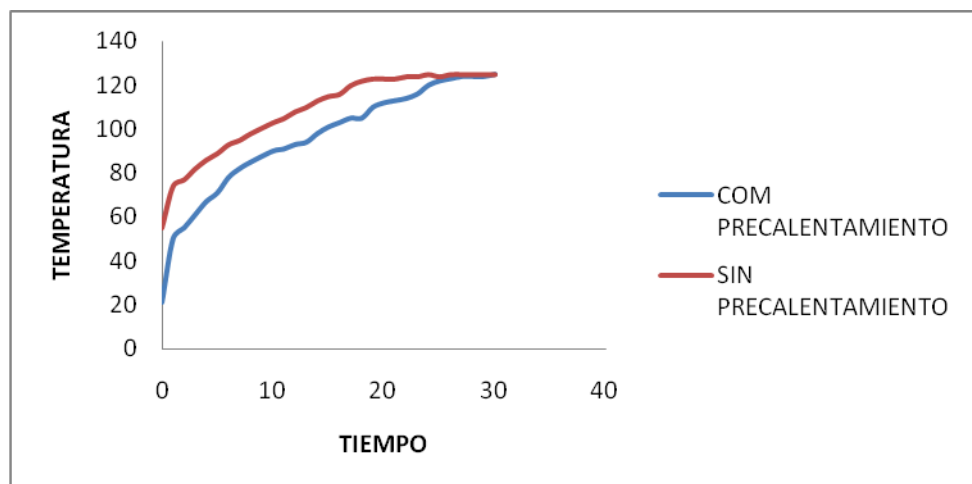


Figura 5.1 Comportamiento de la temperatura dentro de la cámara de Esterilización.

Tal y como se observa, la temperatura de 121 °C se logra en un tiempo de 25 minutos sin precalentar la cámara ($T_0 = 25\text{ °C}$), y en un tiempo de 18 minutos precalentando la cámara ($T_0 = 55\text{ °C}$), este valor de temperatura es el correcto para la esterilización con vapor saturado.

CONCLUSIONES

1. Según los cálculos realizados con respecto al recipiente a presión, se pudo determinar que sus partes componentes están diseñadas con un excelente factor de seguridad, lo que garantiza que no ocurrirá falla mecánica.
2. De la diversidad de alternativas planteadas, se seleccionaron aquellas que cumplieron las mejores condiciones en cuanto a rentabilidad, factibilidad técnica, disponibilidad de partes y repuestos en el mercado, y sobre todo, calidad y eficiencia, que son las bases fundamentales para el cumplimiento de los objetivos planteados en este trabajo.
3. El antiguo sistema de recuperadores de calor con que contaba el equipo fue eliminado, partiendo del hecho de que este sistema se encontraba en un avanzado estado de deterioro, y además debido al moderado costo de operación tomando en cuenta la cantidad de Kw/h consumidos por el equipo.
4. Los objetivos planteados en este trabajo fueron cumplidos a cabalidad, y fueron el producto de un arduo trabajo junto con la aplicación de un amplio criterio de ingeniería.
5. Con la finalidad de prolongar la vida útil del banco de resistencias instalado se procedió a hacer las conexiones eléctricas del sistema de potencia en delta y no en estrella como estaba planteado, con esto el equipo tarda un poco más en conseguir las condiciones de operación pero es más rentable y seguro.

RECOMENDACIONES

1. Para el buen funcionamiento del sistema de generación de vapor, se debe cumplir a cabalidad lo estipulado en las normas de mantenimiento y guía del usuario.
2. El mantenimiento del equipo debe ser realizado por personal capacitado, por lo que se recomienda contratar los servicios de personas conocedoras y capaces de llevar a cabo estas actividades.
3. Evaluar periódicamente el tiempo que emplea el sistema para generar el vapor, y compararlo con el tiempo determinado en las pruebas realizadas al equipo inicialmente, de esta forma se podrá tener idea del desempeño de los elementos calefactores, si este tiempo aumenta de forma excesiva, se podrá deducir que se estén acumulando incrustaciones en la superficie de estos, por lo tanto deberá ejecutarse el mantenimiento previsto.
4. Con el fin de disminuir la cantidad de incrustaciones que se pueden adherir al banco de resistencias, es recomendable instalar un ablandador de agua que funciona con sal acústica y arena en la tubería de alimentación del tanque de almacenamiento para reducir la cantidad de sales y minerales que esta contiene el agua

BIBLIOGRAFIA

LIBROS

- CEBGEL, Yunus/ BOLES Michael., Principios de termodinámica, 2da Edición, Tomo I, Cap. N° 1-2
- FERNANDES, Pedro. Ingeniería Térmica y de Fluidos, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética de la Universidad de Cantabria-pdf, Cap. XVI, XV
- HOLMAN, J.P., Transferencia de Calor, 1998, Editorial Continental S.A. de C.V., 9na Reimpresión, México
- KREITH, Frank/ BOHM, Mark S., Principios de Transferencia de calor, 6ta Edición, Cap. N° 8

TESIS

- ZAQUINAULA, Juan Carlos/ TORO, Franco/ ESCUDERO, Víctor/ VALDIVIESO, Rolando, 2006. Diseño y Montaje de un Banco de Pruebas para Análisis Térmico en Intercambiadores de Calor. (Tesis de Ing. Electromecánicos) Loja, Ecuador, Universidad Nacional de Loja. Área de Energía, Industrias y Recursos Naturales no Renovables. 124p

SITIOS WEB

- <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/analisis-carga-termica/analisis-carga-termica.pdf> (Consulta lunes 26 de noviembre de 2007 18H58)

PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS. ACEROS RECOCIDOS

Acero	Límite de resistencia (MPa)	Límite de fluencia 0,2% (MPa)	Alargamiento (%)	Dureza HRB
ACE P444A	517	347	30	80
ACE P304A	710	312	56	81
ACE P316B	645	322	54	77


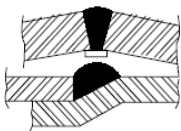




Fuente : ArcelorMittal Inox Brasil

PROPIEDADES FÍSICAS. ACEROS RECOCIDOS

Acero	Coeficiente de dilatación térmica medio de 0°C a			Conductividad térmica	
	100°C (µm/m.°C)	315°C (µm/m.°C)	538°C (µm/m.°C)	a 100°C (W/m.K)	a 500°C (W/m.K)
AISI 304	17,2	17,8	18,4	16,2	21,5
AISI 316	15,9	16,2	17,5	16,2	21,5
AISI 444	10,0	10,6	11,4	26,8	-

Acero	Densidad (g/cm ³)	Módulo de elasticidad (GPa)	Calor específico (J/kg.K)	Resistividad eléctrica (nW.m)	Permeabilidad magnética (aproximada)
AISI 304	8,0	193	500	720	1,02
AISI 316	8,0	193	500	740	1,02
AISI 444	7,8	200	420	620	-

Fuente : ASM SPECIALTY HANDBOOK - STAINLESS STEELS

RECIPIENTES A PRESIÓN				
A1	EFICIENCIA DE JUNTA SOLDADA			
TIPOS DE UNIONES NORMA UW-12		EFICIENCIA DE LA UNION CUANDO LA JUNTA ESTA RADIOGRAFIADA		
		AL 100 %	POR PUNTOS	SIN
	SOLDADURA A TOPE UNIDA CON SOLDADURA POR AMBOS LADOS, O BIEN POR OTRO METODO CON LO CUAL SE OBTENGA LA MISMA CALIDAD DEL METAL DE APORTE EN AMBOS LADOS DE LA SUPERFICIE SOLDADA. SI SE USA LA SOLERA DE RESPALDO, DEBERA QUITARSE DESPUES DE APLICAR LA SOLDADURA Y ANTES DE RADIOGRAFIAR.	1.00	0.85	0.70
	SOLDADURA SIMPLE A TOPE CON SOLERA DE RESPALDO LA CUAL PERMANECERA EN EL INTERIOR DEL RECIPIENTE.	0.90	0.80	0.65
	UNION SIMPLE POR UN SOLO LADO SIN SOLERA DE RESPALDO	---	---	0.60
	UNION TRASLAPADA CON DOBLE FILETE	---	---	0.55
	UNION TRASLAPADA CON FILETE SENCILLO Y TAPON DE SOLDADURA	---	---	0.50
	UNION TRASLAPADA CON FILETE SENCILLO SIN TAPON DE SOLDADURA	---	---	0.45

APENDICE A. RECIPIENTE A PRESION

A.2

ESFUERZO DE FLUENCIA, ACERO INOXIDABLE (FUENTE 5)

MATERIAL N.º AISI	RESISTENCIA MÁXIMA		LÍMITE DE FLUENCIA EN TRACCIÓN		LÍMITE DE FATIGA S'_m		MÓDULO ELASTICIDAD (σ)	
	σ_u	(σ)	σ_f	(σ)	σ'_m	(σ)	E	E
	kg/cm ²	ksi	kg/cm ²	ksi	kg/cm ²	ksi	kg/cm ² $\times 10^{-4}$	psi $\times 10^{-4}$
301, 1/4 duro.	8 788(h)	125(h)	5 273(h)	75(h)	3 109(g)	30(g)	1,968	28
302, recocido.	6 327	90	2 401	37	2 390	34	1,968	28
302, 1/4 duro.	8 788(g)(h)	125(g)(h)	5 273(h)	75(h)	4 921(d)	70(d)	1,968	28
303, recocido.	6 327	90	2 460	35	2 460	35	1,968	28
304, recocido.	5 976	85	2 460	35			1,968	28
316, trabajado en frío (j) . . .	6 327	90	4 218	60	2 812	40	1,968	28
321, recocido.	6 116	87	2 460	35	2 671	38	1,968	28
347, recocido.	6 327	90	2 812	40	2 742	39	1,968	28
403, 410, con tra- tamiento térmico (k) . . .	7 734(h)	110(h)	5 976(h)	85(h)	4 077	58	2,038	29
410, trabajado en frío (h) . . .	7 030(h)	100(h)	5 976	85	3 724	53	2,038	29
416, recocido (h).	5 273	75	2 812	40	2 812	40	2,038	29
430, recocido.	5 273	75	3 163	45	2 812	40	2,038	29

APENDICE B. PROPIEDADES TERMOFISICAS

B.1

VAPOR DE AGUA (FUENTE 4)

Temp. °C T	Presión kPa P	Volumen Específico		Energía Interna			Entalpía			Entropía.		
		Líquido Sat. v_f	Vapor Sat. v_g	Líquido Sat. u_f	Evap. u_{fg}	Vapor Sat. u_g	Líquido Sat. h_f	Evap. h_{fg}	Vapor Sat. h_g	Líquido Sat. s_f	Evap. s_{fg}	Vapor Sat. s_g
0.01	0.6113	0.001 000	206.14	.00	2375.3	2375.3	.01	2501.3	2501.4	.0000	9.1562	9.1562
5	0.8721	0.001 000	147.12	20.97	2361.3	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	.0761	8.9496	9.0257
10	1.2276	0.001 009	106.38	42.00	2347.2	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	.1510	8.7498	8.9008
15	1.7051	0.001 001	77.93	62.99	2333.1	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	.2245	8.5569	8.7814
20	2.339	0.001 002	57.79	83.95	2319.0	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	.2966	8.3706	8.6672
25	3.169	0.001 003	43.36	104.88	2304.9	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	.3674	8.1905	8.5580
30	4.246	0.001 004	32.89	125.78	2290.8	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	.4369	8.0161	8.4533
35	5.628	0.001 006	25.22	146.67	2276.7	2423.1	146.68	2418.6	2565.3	.5053	7.8478	8.3531
40	7.381	0.001 008	19.52	167.56	2262.6	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	.5725	7.6845	8.2570
45	9.593	0.001 010	15.26	188.44	2248.4	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	.6387	7.5261	8.1648
50	12.349	0.001 012	12.03	209.32	2234.2	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	.7038	7.3725	8.0763
55	15.758	0.001 015	9.568	230.21	2219.9	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	.7679	7.2234	7.9913
60	19.940	0.001 017	7.671	251.11	2205.5	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	.8312	7.0784	7.9096
65	25.03	0.001 020	6.197	272.02	2191.1	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	.8935	6.9375	7.8310
70	31.19	0.001 023	5.042	292.95	2176.6	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	.9549	6.8004	7.7553
75	38.58	0.001 026	4.131	313.90	2162.0	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	6.6669	7.6824
80	47.39	0.001 029	3.407	334.86	2147.4	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	6.5369	7.6122
85	57.83	0.001 033	2.828	355.84	2132.6	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	6.4102	7.5445
90	70.14	0.001 036	2.361	376.85	2117.7	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	6.2866	7.4791
95	84.55	0.001 040	1.982	397.88	2102.7	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	6.1659	7.4159

Temp. °C T	Presión MPa P	Líquido Sat. v_f	Vapor Sat. v_g	Líquido Sat. u_f	Evap. u_{fg}	Vapor Sat. u_g	Líquido Sat. h_f	Evap. h_{fg}	Vapor Sat. h_g	Líquido Sat. s_f	Evap. s_{fg}	Vapor Sat. s_g
100	0.101 35	0.001 044	1.6729	418.94	2087.6	2506.5	419.04	2257.0	2676.1	1.3069	6.0480	7.3549
105	0.120 82	0.001 048	1.4194	440.02	2072.3	2512.4	440.15	2243.7	2683.8	1.3630	5.9328	7.2958
110	0.143 27	0.001 052	1.2102	461.14	2057.0	2518.1	461.30	2230.2	2691.5	1.4185	5.8202	7.2387
115	0.169 06	0.001 056	1.0366	482.30	2041.4	2523.7	482.48	2216.5	2699.0	1.4734	5.7100	7.1833
120	0.198 53	0.001 060	0.8919	503.50	2025.8	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5276	5.6020	7.1296
125	0.2321	0.001 065	0.7706	524.74	2009.9	2534.6	524.99	2188.5	2713.5	1.5813	5.4962	7.0775
130	0.2701	0.001 070	0.6685	546.02	1993.9	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	5.3925	7.0269
135	0.3130	0.001 075	0.5822	567.35	1977.7	2545.0	567.69	2159.6	2727.3	1.6870	5.2907	6.9777
140	0.3613	0.001 080	0.5089	588.74	1961.3	2550.0	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	5.1908	6.9299
145	0.4154	0.001 085	0.4463	610.18	1944.7	2554.9	610.63	2129.6	2740.3	1.7907	5.0926	6.8833
150	0.4758	0.001 091	0.3928	631.68	1927.9	2559.5	632.20	2114.3	2746.5	1.8418	4.9960	6.8379
155	0.5431	0.001 096	0.3468	653.24	1910.8	2564.1	653.84	2098.6	2752.4	1.8925	4.9010	6.7935
160	0.6178	0.001 102	0.3071	674.87	1893.5	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	4.8075	6.7502
165	0.7005	0.001 108	0.2727	696.56	1876.0	2572.5	697.34	2066.2	2763.5	1.9925	4.7153	6.7078
170	0.7917	0.001 114	0.2428	718.33	1858.1	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	4.6244	6.6663
175	0.8920	0.001 121	0.2168	740.17	1840.0	2580.2	741.17	2032.4	2773.6	2.0909	4.5347	6.6256
180	1.0021	0.001 127	0.191 05	762.09	1821.6	2583.7	763.22	2015.0	2778.2	2.1396	4.4461	6.5857
185	1.1227	0.001 134	0.174 09	784.10	1802.9	2587.0	785.37	1997.1	2782.4	2.1879	4.3586	6.5465
190	1.2544	0.001 141	0.156 54	806.19	1783.8	2590.0	807.62	1978.8	2785.4	2.2359	4.2720	6.5079
195	1.3978	0.001 149	0.141 05	828.37	1764.4	2592.8	829.98	1960.0	2790.0	2.2835	4.1863	6.4698
200	1.5538	0.001 157	0.127 36	850.65	1744.7	2595.3	852.45	1940.7	2793.2	2.3309	4.1014	6.4323
205	1.7230	0.001 164	0.115 21	873.04	1724.5	2597.5	875.04	1921.0	2796.0	2.3780	4.0172	6.3952
210	1.9062	0.001 173	0.104 41	895.53	1703.9	2599.5	897.76	1900.7	2798.5	2.4248	3.9337	6.3585

APENDICE B. PROPIEDADES TERMOFISICAS

B.3

AIRE A PRESION ATMOSFERICA (FUENTE 2)

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^8$ (m ² /s)	Pr
Aire							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.655	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536

APENDICE B. PROPIEDADES TERMOFISICAS

B.4

ACERO INOXIDABLE (FUENTE 5)

Composición	Punto de fusión (K)	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K)								
		ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^4$ (m ² /s)	λ (W/m · K), ν_p (J/kg · K)								
						100	200	400	600	800	1000	1200	1500	
Acero puro	1810	7870	447	80.2	23.1	134	94.0	69.5	54.7	43.3	32.8	28.3	32.1	
Aceros al carbón						216	384	490	574	680	975	609	654	
Carbón ordinario (Mn \leq 1%, Si \leq 0.1%)		7854	434	60.5	17.7			56.7	48.0	39.2	30.0			
AISI 1010		7832	434	63.9	18.8			58.7	48.8	39.2	31.3			
Carbón-silicio (Mn \leq 1%, 0.1% < Si \leq 0.6%)		7817	446	51.9	14.9			48.7	55.9	685	1168			
Carbón-manganeso-silicio (1% < Mn \leq 1.65%, 0.1% < Si \leq 0.6%)		8131	434	41.0	11.6			50.1	58.2	69.9	97.1			
Aceros con cromo (bajo)														
1 Cr-1 Mo-Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si)		7822	444	37.7	10.9			38.2	36.7	33.3	26.9			
1 Cr-1 Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si)		7858	442	42.3	12.2			42.0	39.1	34.5	27.4			
1 Cr-V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)		7836	443	48.9	14.1			46.8	42.1	36.3	28.2			
Aceros inoxidables														
AISI 302		8055	480	15.1	3.91			17.3	20.0	22.8	25.4			
AISI 304		1670	7990	477	14.9	3.95	9.2	12.6	16.6	19.8	22.6	25.4	28.0	31.7
AISI 316		8238	468	13.4	3.48		272	402	515	557	582	611	640	682
AISI 347		7978	480	14.2	3.71			15.2	18.3	21.3	24.2			
								504	550	576	602			
								513	559	585	606			

APENDICE B. PROPIEDADES TERMOFISICAS

B.5

AISLANTES (FUENTE 3)

<i>Materiales y sistemas de aislamiento</i>			
Descripción/composición	Propiedades típicas a 300 K		
	Densidad, ρ (kg/m ³)	Conductividad térmica, k (W/m · K)	Calor específico, c_p (J/kg · K)
Manta y fibra			
Fibra de vidrio, revestida de papel	16	0.046	—
	28	0.038	—
	40	0.035	—
Fibra de vidrio, recubierta; forro de tubo	32	0.038	835
Tablero y losa			
Vidrio celular	145	0.058	1000
Fibra de vidrio, unión orgánica	105	0.036	795
Poliestireno, expandido			
Estirado (R-12)	55	0.027	1210
Lechos moldeados	16	0.040	1210
Lámina de fibra mineral; material de techado	265	0.049	—
Madera, triturada/encementada	350	0.087	1590
Corcho	120	0.039	1800
Relleno suelto			
Corcho, granulado	160	0.045	—
Óxido de silicio diatomeo, polvo grueso	350	0.069	—
	400	0.091	—
Óxido de silicio diatomeo, polvo fino	200	0.052	—
	275	0.061	—
Fibra de vidrio, vaciado o soplado	16	0.043	835
Vermiculita, hojuelas	80	0.068	835
	160	0.063	1000

APENDICE C. SISTEMA DE BOMBEO

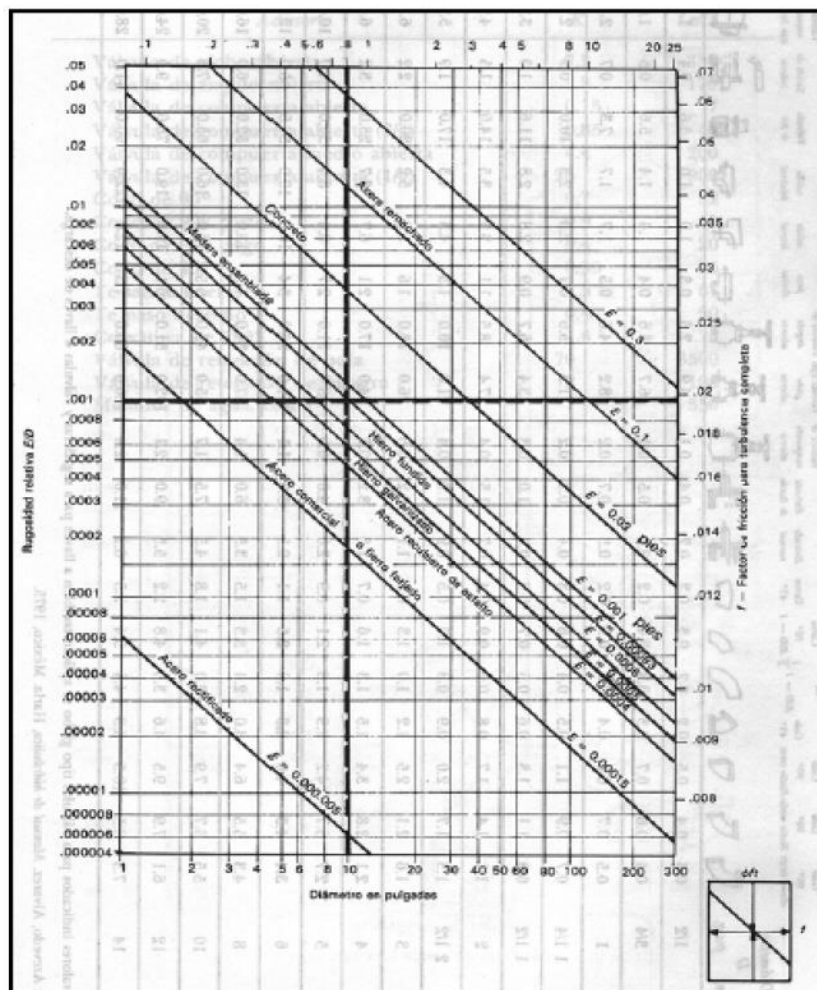
C.1 COEFICIENTES DE PERDIDAS PARA ACCESORIOS (FUENTE 1)

<i>Accesorio</i>	<i>K</i>	<i>L_e/D</i>
Válvula de globo abierta	7.5	350
Válvula de ángulo abierta	3.8	170
Válvula de compuerta abierta	0.15	7
Válvula de compuerta abierta (3/4)	0.85	40
Válvula de compuerta medio abierta	4.4	200
Válvula de compuerta abierta (1/4)	20	900
Codo de 90°	0.7	32
Codo de 90° corto	0.9	41
Codo de 90° largo	0.4	20
Codo de 45°	0.35	15
Te salida lateral	1.5	67
Te paso derecho	0.4	20
Curvatura de 180°	1.6	75
Válvula de retención de bola	70	3500
Válvula de retención de bisagra	2	100
Medidor de agua, disco	7	350

APENDICE C. SISTEMA DE BOMBEO

C.2

RUGOSIDAD DE MATERIAL (FUENTE 1)



METODOLOGÍA PARA EL CALCULO DE RECIPIENTES
SOMETIDOS A PRESIÓN INTERNA

C3

CILINDROS HORIZONTALES

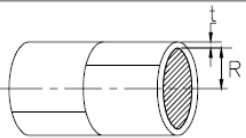
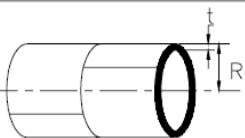
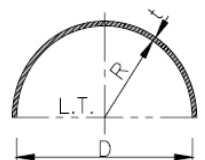
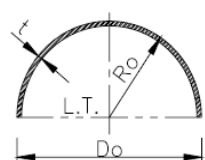
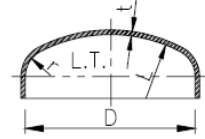
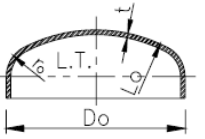
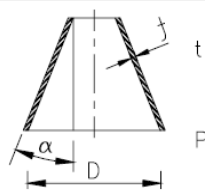
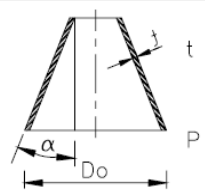
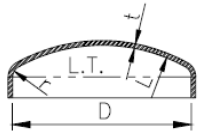
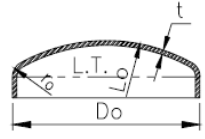
α = ANGULO DEL VERTICE/2 D = DIAMETRO INTERIOR Do = DIAMETRO EXTERIOR E = EFICIENCIA DE SOLDADURA r = RADIO DE ESQUINA INT. ro = RADIO DE ESQUINA EXT. M = FACTOR (VER TABLA) P = PRESION DE DISEÑO L = RADIO INTERIOR DE LA TAPA R = RADIO INT. Ro = RADIO EXT. S = ESFUERZO EN LA TENSION t = ESPESOR MINIMO REQUERIDO L = RADIO INTERIOR DE LA TAPA Lo = RADIO EXTERIOR DE LA TAPA																			
TABLA	L/r	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	16.67	
FACTOR	M	1.39	1.41	1.44	1.46	1.48	1.50	1.52	1.54	1.56	1.58	1.60	1.62	1.65	1.69	1.72	1.75	1.77	
EN FUNCION DE DIMENSIONES INTERNAS										EN FUNCION DE DIMENSIONES EXTERNAS									
 $t = \frac{PR}{SE - 0.6P}$ $P = \frac{SE t}{R + 0.6t}$					 $t = \frac{PRo}{SE + 0.4P}$ $P = \frac{SE t}{Ro + 0.4t}$														
CUERPO CILINDRICO					CUERPO CILINDRICO														
 $t = \frac{PR}{2SE - 0.2P}$ $P = \frac{2SE t}{R + 0.2t}$					 $t = \frac{PRo}{2SE + 0.8P}$ $P = \frac{2SE t}{Ro - 0.8t}$														
TAPA SEMIESFERICA					TAPA SEMIESFERICA														
 $t = \frac{PD}{2SE - 0.2P}$ $P = \frac{2SE t}{D + 0.2t}$					 $t = \frac{PDo}{2SE + 1.8P}$ $P = \frac{2SE t}{Do - 1.8t}$														
TAPA SEMIELIPTICA 2:1					TAPA SEMIELIPTICA														
 $t = \frac{PD}{2 \cos \alpha (SE - 0.6P)}$ $P = \frac{2SEt \cos \alpha}{D + 1.2t \cos \alpha}$					 $t = \frac{PDo}{2 \cos \alpha (SE + 0.4P)}$ $P = \frac{2SEt \cos \alpha}{Do - 0.8t \cos \alpha}$														
TAPA Y/O SECCION CONICA α MAX. = 30°					TAPA Y/O SECCION CONICA α MAX. = 30°														
 $t = \frac{PLM}{2SE - 0.2P}$ $P = \frac{2SE t}{rM + 0.2t}$					 $t = \frac{PLoM}{2SE + P(M - 0.2)}$ $P = \frac{2SE t}{Mro - t(M - 0.2)}$														
TAPA TORIESFERICA ASME					TAPA TORIESFERICA ASME														



Fig.1 Autoclave Consolidated



Fig.2 Generador y Cámara

