



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA DE MECÁNICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE BAÑOS DE  
CAJÓN PARA USO DOMICILIARIO”**

**Trabajo de titulación**

Tipo: Proyecto técnico

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES: JONATHAN ANDRÉS CHANGO MUÑOZ**

**DIEGO JOSÉ ZAVALA ZABALA**

Riobamba – Ecuador

2021



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA DE MECÁNICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE BAÑOS DE  
CAJÓN PARA USO DOMICILIARIO”**

**Trabajo de titulación**

Tipo: Proyecto técnico

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES: JONATHAN ANDRÉS CHANGO MUÑOZ**

**DIEGO JOSÉ ZAVALA ZABALA**

**DIRECTOR: Ing. JORGE ISAÍAS CAICEDO REYES**

Riobamba – Ecuador

2021

**©2021, Jonathan Andrés Chango Muñoz, Diego José Zavala Zabala**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor

Nosotros, Jonathan Andrés Chango Muñoz y Diego José Zavala Zabala, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 09 de julio del 2021



Jonathan Andrés Chango Muñoz  
180443709-1



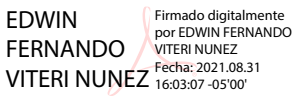


Diego José Zavala Zabala  
060474560-4

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA DE MECÁNICA**

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: proyecto técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE BAÑOS DE CAJÓN PARA USO DOMICILIARIO**, realizado por los señores: **JONATHAN ANDRÉS CHANGO MUÑOZ** y **DIEGO JOSÉ ZAVALA ZABALA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del tribunal de trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 EDWIN FERNANDO VITERI NUNEZ Firmado digitalmente por EDWIN FERNANDO VITERI NUNEZ Fecha: 2021.08.31 16:03:07 -05'00'	2021-07-09
Ing. Jorge Isafas Caicedo Reyes <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>JORGE ISAIAS CAICEDO REYES</b>	2021-07-09
Ing. Sócrates Miguel Aquino Arroba <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>SOCRATES MIGUEL AQUINO ARROBA</b>	2021-07-09

## **DEDICATORIA**

El trabajo desarrollado dedico con mucho orgullo a mis padres Nelson Chango y Sandra Muñoz que con su esfuerzo, trabajo, amor y palabras de aliento fueron el pilar fundamental para alcanzar tan anhelado sueño ya que sin el apoyo incondicional de ellos este logro no hubiese sido posible.

Jonathan

Quiero dedicar este trabajo de titulación a Dios por haberme dado mucha sabiduría y guiado a lo largo de mi carrera profesional, a mis Padres y Hermano que fueron el pilar fundamental para lograr alcanzar un objetivo más en mi vida, gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí, por los consejos que he recibido para seguirme superando, sobre todo por la paciencia y el amor tan grande que me han dado día a día.

Al igual que a mis familiares, profesores, amigos y a todas las personas que de una u otra manera me brindaron su apoyo.

Diego

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco infinitamente el apoyo brindado por parte de mi familia y a cada uno de los ingenieros que forman parte de la prestigiosa Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por haberme inculcado de valores y conocimientos esenciales para desenvolverme como un profesional en cualquier ámbito laboral.

Jonathan

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica a cada uno de los docentes por impartir sus conocimientos en cada una de sus clases para formarme como un profesional.

Un sincero agradecimiento al Ing. Isaías Caicedo e Ing. Miguel Aquino docentes de la Escuela de Ingeniería Mecánica por todo el apoyo brindado durante el desarrollo del trabajo de titulación.

Diego

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xviii
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Delimitación.....	3
1.2.1. <i>Delimitación espacial</i> .....	3
1.3. Formulación del problema.....	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....	3
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	3

### CAPÍTULO II

<b>2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>	<b>4</b>
2.1. Sistema de vapor.....	4
2.2. <i>Caldera</i> .....	4
2.3. Calderas pirotubulares verticales.....	5
2.3.1. <i>Principio de funcionamiento de la caldera pirotubular vertical</i> .....	6
2.3.2. <i>Estructura de la caldera pirotubular vertical</i> .....	7
2.3.2.1. <i>Hogar o tubo central</i> .....	7
2.3.2.2. <i>Haz de tubos</i> .....	7
2.3.2.3. <i>Espejos</i> .....	8
2.3.2.4. <i>Carcasa</i> .....	8



2.3.2.5.	<i>Cámara de agua</i> .....	8
2.3.2.6.	<i>Cámara de vapor</i> .....	8
<b>2.3.3.</b>	<b><i>Accesorios de la caldera pirotubular vertical</i></b> .....	<b>9</b>
2.3.3.1.	<i>Control de nivel de agua</i> .....	9
2.3.3.2.	<i>Válvula de seguridad</i> .....	9
2.3.3.3.	<i>Válvula de corte del suministro de vapor</i> .....	10
2.3.3.4.	<i>Purgas</i> .....	10
2.3.3.5.	<i>Pressuretrol</i> .....	10
2.3.3.6.	<i>Manómetro</i> .....	11
2.3.3.7.	<i>Cristal de nivel de agua</i> .....	11
2.3.3.8.	<i>Termostato</i> .....	12
<b>2.4.</b>	<b><i>Sistema de alimentación y descarga</i></b> .....	<b>12</b>
<b>2.4.1.</b>	<b><i>Alimentación de agua</i></b> .....	<b>12</b>
<b>2.4.2.</b>	<b><i>Tuberías de agua de alimentación</i></b> .....	<b>13</b>
<b>2.4.3.</b>	<b><i>Tubería Galvanizada</i></b> .....	<b>13</b>
<b>2.4.4.</b>	<b><i>Tuberías de PVC</i></b> .....	<b>14</b>
<b>2.4.5.</b>	<b><i>Línea de descarga de vapor</i></b> .....	<b>14</b>
<b>2.4.6.</b>	<b><i>Tubería negra sin costura</i></b> .....	<b>15</b>
<b>2.4.7.</b>	<b><i>Tubería de Cobre</i></b> .....	<b>15</b>
<b>2.4.8.</b>	<b><i>Válvulas</i></b> .....	<b>16</b>
<b>2.4.9.</b>	<b><i>Uniones de Tuberías</i></b> .....	<b>16</b>
<b>2.5.</b>	<b><i>Conceptos termodinámicos</i></b> .....	<b>16</b>
<b>2.5.1.</b>	<b><i>Conceptos fundamentales sobre generación de vapor</i></b> .....	<b>16</b>
2.5.1.1.	<i>La energía</i> .....	16
2.5.1.2.	<i>Vaporización</i> .....	17
2.5.1.3.	<i>Evaporización</i> .....	17
2.5.1.4.	<i>Ebullición</i> .....	17
2.5.1.5.	<i>Condensación</i> .....	17
2.5.1.6.	<i>La temperatura de un cuerpo</i> .....	18
2.5.1.7.	<i>Combustión</i> .....	18
2.5.1.8.	<i>El BTU (British Termal Unity)</i> .....	18
2.5.1.9.	<i>Kilocaloría</i> .....	18
2.5.1.10.	<i>Volumen específico del vapor</i> .....	18
2.5.1.11.	<i>Energía interna</i> .....	19
2.5.1.12.	<i>Entalpía</i> .....	19
2.5.1.13.	<i>Entropía</i> .....	19
<b>2.5.2.</b>	<b><i>Transferencia de calor en calderas</i></b> .....	<b>19</b>

2.5.2.1.	<i>Conducción</i> .....	19
2.5.2.2.	<i>Convección</i> .....	20
2.5.2.3.	<i>Radiación</i> .....	20
<b>2.6.</b>	<b>Parámetros de diseño y operación</b> .....	<b>21</b>
2.6.1.	<i>Presión de trabajo</i> .....	21
2.6.2.	<i>Temperatura de vapor</i> .....	22
2.6.3.	<i>Producción de vapor</i> .....	22
2.6.4.	<i>Flujo de vapor</i> .....	22
2.6.5.	<i>Caballo caldera</i> .....	22
2.6.6.	<i>Combustión</i> .....	22
2.6.6.1.	<i>Tipos de combustión</i> .....	23
2.6.7.	<i>Combustible</i> .....	24
2.6.8.	<i>Quemador</i> .....	25
<b>2.7.</b>	<b>Código ASME</b> .....	<b>25</b>
2.7.1.	<i>Sección I – Calderas de Potencia</i> .....	26
2.7.1.1.	<i>Parte PFT - Requisitos para calderas pirotubulares</i> .....	26
2.7.1.2.	<i>Requisitos de espesor</i> .....	26
2.7.1.3.	<i>Temperatura</i> .....	27
2.7.1.4.	<i>Hogares cilíndricos y tubos.</i> .....	27
2.7.1.5.	<i>Parte PG - Requisitos generales para todos los métodos de construcción</i> .....	29
2.7.1.6.	<i>Placas</i> .....	29
2.7.1.7.	<i>Tuberías, tubos y partes sometidas a presión</i> .....	29
2.7.2.	<i>Diseño según código ASME</i> .....	30
2.7.2.1.	<i>Espesores Mínimos</i> .....	31
2.7.2.2.	<i>Máxima presión de trabajo admisible (MAWP)</i> .....	31
2.7.2.3.	<i>Componentes cilíndricos sometidos a presión interna</i> .....	31
2.7.3.	<i>Fórmulas para realizar los cálculos</i> .....	32
2.7.3.1.	<i>Tubería, tambores, cuerpos, y cabezales</i> .....	32
2.7.3.2.	<i>Tapas y cubiertas planas sin riostras</i> .....	32
2.7.3.3.	<i>Aberturas en cuerpos, cabezales y tapas cóncavas</i> .....	32
2.7.4.	<i>Fabricación según código ASME</i> .....	33
2.7.4.1.	<i>Corte de placas y otros productos</i> .....	33
2.7.5.	<i>Prueba hidrostática</i> .....	34
2.7.6.	<i>Parte PW – Requisitos para calderas fabricadas por soldadura</i> .....	34
2.7.6.1.	<i>Diseño de juntas soldadas</i> .....	34
2.7.6.2.	<i>Biseles de soldadura</i> .....	34
2.7.6.3.	<i>Requisitos mínimos para las soldaduras de fijación</i> .....	35

<b>2.7.7.</b>	<b>Soldadura</b> .....	35
2.7.7.1.	Procesos de soldadura según código ASME.....	35
2.7.7.2.	Proceso de soldadura MIG - Soldadura gas, arco y metal.....	35
2.7.7.3.	Proceso de soldadura TIG - Soldadura en una atmósfera con gas inerte y electrodo de tungsteno .....	36
2.7.7.4.	Proceso de soldadura SMAW - Soldadura de arco manual.....	36
2.7.7.5.	Proceso de soldadura PAC - Corte por arco de plasma.....	36
2.7.7.6.	Tipos de soldadura.....	37
2.7.7.7.	Posición de soldadura.....	37
<b>2.8.</b>	<b>Ensayos no destructivos para soldadura</b> .....	38
2.8.1.	Ensayos con líquidos penetrantes .....	39
2.8.2.	Pruebas de fuga (ensayo de burbujeo) .....	39
<b>2.9.</b>	<b>Concretos refractarios</b> .....	40
2.9.1.	Concretos refractarios densos silico-aluminosos .....	40
<b>2.10.</b>	<b>Baño de cajón</b> .....	41
2.10.1.	Proceso.....	41
2.10.2.	Beneficios .....	42
2.10.3.	Componentes del baño de cajón .....	42
2.10.3.1.	Cajón mixto (madera + concreto).....	42
2.10.3.2.	Cubas de agua fría.....	43

### CAPÍTULO III

<b>3.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	44
<b>3.1.</b>	<b>Diseño del generador de vapor</b> .....	48
3.1.1.	Diseño térmico.....	48
3.1.1.1.	Cálculo de la cantidad de vapor necesario.....	48
3.1.1.2.	Pérdidas de calor por conducción .....	54
3.1.1.3.	Pérdidas de calor en el cajón.....	73
3.1.1.4.	Pérdidas en las tuberías.....	74
3.1.1.5.	Calor necesario para el baño de cajón.....	80
3.1.1.6.	Potencia de la caldera .....	80
3.1.1.7.	Flujo de vapor necesario para calentar el cajón .....	81
3.1.2.	Diseño Mecánico .....	82
3.1.2.1.	Diseño del cuerpo .....	82
3.1.2.2.	Diseño de la cámara de combustión .....	83

3.1.2.3.	<i>Diseño de las tapas planas</i> .....	84
3.1.2.4.	<i>Diseño de tubos de humo</i> .....	84
3.1.2.5.	<i>Diseño de bocas</i> .....	86
<b>3.2.</b>	<b>Rediseño del generador de vapor</b> .....	86
<b>3.2.1.</b>	<b>Rediseño Térmico</b> .....	86
3.2.1.1.	<i>Pérdidas en las tuberías</i> .....	86
3.2.1.2.	<i>Calor necesario para el baño de cajón</i> .....	93
3.2.1.3.	<i>Potencia de la caldera</i> .....	93
3.2.1.4.	<i>Rendimiento del generador de vapor</i> .....	94
3.2.1.5.	<i>Flujo de vapor necesario para calentar el cajón</i> .....	94
3.2.1.6.	<i>Potencia real de la caldera</i> .....	96
<b>3.2.2.</b>	<b>Rediseño Mecánico</b> .....	97
3.2.2.1.	<i>Diseño del cuerpo</i> .....	97
3.2.2.2.	<i>Diseño de las tapas planas</i> .....	98
3.2.2.3.	<i>Diseño de la cámara de combustión</i> .....	99
3.2.2.4.	<i>Diseño de bocas</i> .....	100
3.2.2.5.	<i>Diseño de tubos de humo</i> .....	100
3.2.2.6.	<i>Distribución de los tubos de humo (escalonado)</i> .....	101
<b>3.3.</b>	<b>Planificación de la construcción del generador de vapor</b> .....	103
<b>3.3.1.</b>	<b>Dimensiones del generador de vapor</b> .....	103
<b>3.3.2.</b>	<b>Selección de materiales</b> .....	103
3.3.2.1.	<i>Cuerpo y Espejos</i> .....	104
3.3.2.2.	<i>Tubos de fuego</i> .....	109
3.3.2.3.	<i>Dureza Brinell</i> .....	109
<b>3.3.3.</b>	<b>Herramientas y máquinas utilizadas</b> .....	115
<b>3.3.4.</b>	<b>Pasos seguidos en la construcción del generador de vapor</b> .....	118
3.3.4.1.	<i>Toma de medidas de los materiales</i> .....	118
3.3.4.2.	<i>Construcción del generador de vapor</i> .....	119
<b>3.4.</b>	<b>Diseño y construcción del sistema de baños de cajón</b> .....	134
<b>3.4.1.</b>	<b>Selección y dimensionamiento del área adecuada</b> .....	134
<b>3.4.2.</b>	<b>Materiales para el sistema de baños de cajón</b> .....	135
<b>3.4.3.</b>	<b>Máquinas y herramientas usadas para la construcción</b> .....	136
<b>3.4.4.</b>	<b>Pasos seguidos en la construcción del sistema de baños de cajón</b> .....	136
<b>3.5.</b>	<b>Análisis de costos</b> .....	143
<b>3.5.1.</b>	<b>Costo directo del generador de vapor</b> .....	143
3.5.1.1.	<i>Materiales e instrumentos</i> .....	144
3.5.1.2.	<i>Costo de mano de obra</i> .....	145

3.5.2.	<i>Costo directo de los baños de cajón y cubas de agua</i> .....	146
3.5.2.1.	<i>Materiales</i> .....	146
3.5.2.2.	<i>Costo de mano de obra</i> .....	147
3.5.3.	<i>Costo indirecto</i> .....	147
3.5.4.	<i>Costo total</i> .....	147

## CAPÍTULO IV

<b>4.</b>	<b>INSTALACIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS</b> .....	149
<b>4.1.</b>	<b>Instalación del sistema de baños de cajón</b> .....	149
4.1.1.	<i>Lista de chequeo de requerimientos</i> .....	152
<b>4.2.</b>	<b>Pruebas de funcionamiento</b> .....	153
4.2.1.	<i>Arranque y parada del sistema de baños de cajón</i> .....	153
4.2.1.1.	<i>Puesta en marcha</i> .....	153
4.2.1.2.	<i>Fuera de servicio</i> .....	154
<b>4.3.</b>	<b>Señalética del sistema de baño de cajón</b> .....	154
4.3.1.	<i>Cuarto de máquinas</i> .....	154
4.3.2.	<i>Cuarto de baños de cajón</i> .....	155
<b>4.4.</b>	<b>Resultados</b> .....	157
4.4.1.	<i>Ficha técnica del generador de vapor</i> .....	157
4.4.2.	<i>Parámetros de funcionamiento del sistema de baños de cajón</i> .....	157
4.4.2.1.	<i>Instrumentos para la toma de datos</i> .....	157
4.4.2.2.	<i>Parámetros de funcionamiento del generador de vapor</i> .....	159
4.4.2.3.	<i>Parámetros de funcionamiento de los baños de cajón</i> .....	163
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	163
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	164

## GLOSARIO

## BIBLIOGRAFÍA

## ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-3:</b>	Perdidas de calor en el cajón .....	73
<b>Tabla 2-3:</b>	Composiciones químicas SA-285.....	104
<b>Tabla 3-3:</b>	Propiedades mecánicas SA-285 .....	104
<b>Tabla 4-3:</b>	Propiedades del material SAE 1012.....	107
<b>Tabla 5-3:</b>	Propiedades del acero ASTM A53 GrB.....	109
<b>Tabla 6-3:</b>	Constante K según el tipo de material.....	111
<b>Tabla 7-3:</b>	Tiempo t según el tipo de material .....	111
<b>Tabla 8-3:</b>	Probeta 1 (espesor de 6mm) Acero SAE 1012.....	112
<b>Tabla 9-3:</b>	Probeta 2 (espesor de 8mm) Acero SAE 1012.....	112
<b>Tabla 10-3:</b>	Probeta 3 (Tubo de Fuego) Acero ASTM A53 GrB .....	112
<b>Tabla 11-3:</b>	Materiales a utilizar para la construcción del generador de vapor .....	113
<b>Tabla 12-3:</b>	Tuberías para la construcción del generador de vapor .....	113
<b>Tabla 13-3:</b>	Accesorios para el generador de vapor.....	113
<b>Tabla 14-3:</b>	Herramientas y maquinas usadas para el generador de vapor.....	115
<b>Tabla 15-3:</b>	Costo de materiales y/o instrumentos para el generador de vapor .....	144
<b>Tabla 16-3:</b>	Costo de mano de obra para el generador de vapor.....	146
<b>Tabla 17-3:</b>	Costo de materiales y componentes de los baños de cajón y cubas de agua .....	146
<b>Tabla 18-3:</b>	Costo de mano de obra para la construcción del sistema .....	147
<b>Tabla 19-3:</b>	Costo indirecto.....	147
<b>Tabla 20-3:</b>	Costo total.....	148
<b>Tabla 1-4:</b>	Lista de chequeo .....	152
<b>Tabla 2-4:</b>	Ficha técnica.....	157
<b>Tabla 3-4:</b>	Instrumentos para la toma de datos .....	157
<b>Tabla 4-4:</b>	Consumo Combustible Vs. Tiempo.....	159
<b>Tabla 5-4:</b>	Presión Vs. Tiempo .....	160
<b>Tabla 6-4:</b>	Régimen de trabajo del generador de vapor .....	161
<b>Tabla 7-4:</b>	Presión Vs. Tiempo .....	163
<b>Tabla 8-4:</b>	Estadísticos descriptivos: Presión.....	164
<b>Tabla 9-4:</b>	Temperatura Vs. Tiempo.....	165
<b>Tabla 10-4:</b>	Estadísticos descriptivos: Temperatura .....	166
<b>Tabla 11-4:</b>	Humedad Vs Tiempo.....	167
<b>Tabla 12-4:</b>	Estadísticos descriptivos: Temperatura .....	168

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b>	Caldera acuotubular y caldera pirotubular de dos pasos de humo .....	4
<b>Figura 2-2:</b>	Sensor de nivel de agua.....	9
<b>Figura 3-2:</b>	Válvula de seguridad.....	9
<b>Figura 4-2:</b>	Pressuretrol FENSHEN .....	10
<b>Figura 5-2:</b>	Manómetro GENEBRE .....	11
<b>Figura 6-2:</b>	Cristal de nivel de agua.....	12
<b>Figura 7-2:</b>	Termostato Rainbow TS-320SR.....	12
<b>Figura 8-2:</b>	Bomba periférica de alimentación de agua PEDROLLO. ....	13
<b>Figura 9-2:</b>	Tubería Galvanizada .....	14
<b>Figura 10-2:</b>	Tubería de PVC.....	14
<b>Figura 11-2:</b>	Tubería Negra sin Costura .....	15
<b>Figura 12-2:</b>	Tubería de Cobre.....	15
<b>Figura 13-2:</b>	Quemador Diésel BECKETT.....	25
<b>Figura 14-2:</b>	Algunas formas aceptables de fijación de tubos en calderas pirotubulares .....	27
<b>Figura 15-2:</b>	Proceso de soldadura MIG.....	35
<b>Figura 16-2:</b>	Proceso de soldadura TIG.....	36
<b>Figura 17-2:</b>	Proceso de soldadura SMAW .....	36
<b>Figura 18-2:</b>	Proceso de soldadura PAC.....	37
<b>Figura 19-2:</b>	Tipos de soldadura .....	37
<b>Figura 20-2:</b>	Posiciones de soldadura .....	38
<b>Figura 21-2:</b>	Líquidos penetrantes .....	39
<b>Figura 22-2:</b>	Ensayo de Burbujeo.....	40
<b>Figura 23-2:</b>	Concreto Refractario.....	41
<b>Figura 24-2:</b>	Baño de cajón.....	41
<b>Figura 25-2:</b>	Cajón mixto.....	42
<b>Figura 26-2:</b>	Cuba de Agua Fría. ....	43
<b>Figura 1-3:</b>	Diseño del cajón mixto (concreto + madera).....	50
<b>Figura 2-3:</b>	Partes del cajón. ....	54
<b>Figura 3-3:</b>	Puerta 1 de madera.....	55
<b>Figura 4-3:</b>	Circuito térmico puerta 1 de madera.....	55
<b>Figura 5-3:</b>	Pared 1 de ladrillo y enlucido. ....	61
<b>Figura 6-3:</b>	Circuito térmico de la pared 1.....	62

<b>Figura 7-3:</b>	Pared 2 de ladrillo y enlucido .....	64
<b>Figura 8-3:</b>	Circuito térmico de la pared 2.....	65
<b>Figura 9-3:</b>	Puerta 2 de madera.....	67
<b>Figura 10-3:</b>	Circuito térmico de la puerta 2.....	68
<b>Figura 11-3:</b>	Piso de hormigón, enlucido y baldosa .....	70
<b>Figura 12-3:</b>	Circuito térmico del piso de hormigón, enlucido y baldosa.....	71
<b>Figura 13-3:</b>	Diagrama de la tubería de cobre. ....	74
<b>Figura 14-3:</b>	Circuito térmico de la tubería de cobre.....	74
<b>Figura 15-3:</b>	Diagrama de la tubería de cobre. ....	87
<b>Figura 16-3:</b>	Circuito térmico de la tubería de cobre.....	87
<b>Figura 17-3:</b>	Distribución de los tubos de humo (escalonado). ....	101
<b>Figura 18-3:</b>	Dimensiones del generador de vapor.....	103
<b>Figura 19-3:</b>	Selección del material AISI 1010, Software CES EduPack. ....	105
<b>Figura 20-3:</b>	Composición química AISI 1010, Software CES EduPack.....	105
<b>Figura 21-3:</b>	Propiedades Mecánicas AISI 1010, Software CES EduPack .....	105
<b>Figura 22-3:</b>	Propiedades Térmicas AISI 1010, Software CES EduPack.....	106
<b>Figura 23-3:</b>	Materiales con composiciones similares a AISI 1010, Software CES.....	106
<b>Figura 24-3:</b>	Reporte de análisis Bruker.....	107
<b>Figura 25-3:</b>	Microestructura del acero 1012 mediante SEM a 2.200 X .....	108
<b>Figura 26-3:</b>	Microestructura del acero 1012 a 2000 X.....	108
<b>Figura 27-3:</b>	Durómetro HBRV-187.5.....	110
<b>Figura 28-3:</b>	Microscopio Mítutoyo. ....	110
<b>Figura 29-3:</b>	Plancha de acero SAE 1012.....	118
<b>Figura 30-3:</b>	Tubería negra para vapor sin costura CEDULA 40.....	119
<b>Figura 31-3:</b>	Rolado del cuerpo. ....	119
<b>Figura 32-3:</b>	Soldado del cuerpo.....	120
<b>Figura 33-3:</b>	Rolado del doble fondo.....	120
<b>Figura 34-3:</b>	Soldado del doble fondo. ....	121
<b>Figura 35-3:</b>	Corte del espejo inferior.....	121
<b>Figura 36-3:</b>	Corte del espejo superior. ....	122
<b>Figura 37-3:</b>	Espejo superior e inferior cortados. ....	122
<b>Figura 38-3:</b>	Centrado del espejo superior e inferior. ....	122
<b>Figura 39-3:</b>	Cuadrícula para los agujeros de los tubos de humo. ....	123
<b>Figura 40-3:</b>	Circunferencias para los agujeros de los tubos de humo. ....	123
<b>Figura 41-3:</b>	Guía para el corte con plasma de los agujeros. ....	124
<b>Figura 42-3:</b>	Corte con plasma de los agujeros para los tubos de humo.....	124



<b>Figura 43-3:</b> Agujeros para los tubos de humo.....	124
<b>Figura 44-3:</b> Proceso de biselado.....	125
<b>Figura 45-3:</b> Punteado del espejo con el doble fondo.....	125
<b>Figura 46-3:</b> Ensamble del espejo con el doble fondo.....	125
<b>Figura 47-3:</b> Ensamble del espejo con la parte superior del cuerpo.....	126
<b>Figura 48-3:</b> Unión del cuerpo con el doble fondo.....	126
<b>Figura 49-3:</b> Medición de la longitud para los tubos de humo.....	127
<b>Figura 50-3:</b> Corte de los tubos de humo.....	127
<b>Figura 51-3:</b> Ensamble de los tubos de humo con los espejos.....	128
<b>Figura 52-3:</b> Colocación del cañón de fuego.....	128
<b>Figura 53-3:</b> Ensayo de burbujeo.....	128
<b>Figura 54-3:</b> Prueba Hidrostática.....	129
<b>Figura 55-3:</b> Base de cemento refractario.....	129
<b>Figura 56-3:</b> Caldera ensamblada.....	130
<b>Figura 57-3:</b> Colocación de la fibra de vidrio.....	130
<b>Figura 58-3:</b> Forrado con tol galvanizado.....	131
<b>Figura 59-3:</b> Proceso de pintado.....	131
<b>Figura 60-3:</b> Instalación de los instrumentos.....	132
<b>Figura 61-3:</b> Recipiente de almacenamiento de agua.....	132
<b>Figura 62-3:</b> Instalación de los instrumentos.....	133
<b>Figura 63-3:</b> Pruebas de funcionamiento del generador de vapor.....	134
<b>Figura 64-3:</b> Selección del área adecuada.....	134
<b>Figura 65-3:</b> Plano de construcción del sistema de baños de cajón.....	135
<b>Figura 66-3:</b> Limpieza y desalojo del área.....	136
<b>Figura 67-3:</b> Retiro y picado de baldosas para los baños de cajón.....	137
<b>Figura 68-3:</b> Construcción de las paredes de los baños de cajón.....	137
<b>Figura 69-3:</b> Enlucido de las paredes de los baños de cajón.....	138
<b>Figura 70-3:</b> Retiro y picado de baldosas para las cubas de agua fría.....	138
<b>Figura 71-3:</b> Construcción de las cubas de agua fría.....	139
<b>Figura 72-3:</b> Instalación de la tubería PVC.....	139
<b>Figura 73-3:</b> Enlucido y colocación de cerámica.....	139
<b>Figura 74-3:</b> Construcción del canal para recolección de agua.....	140
<b>Figura 75-3:</b> Construcción de la base para colocar el generador de vapor.....	140
<b>Figura 76-3:</b> Construcción del alcantarillado.....	141
<b>Figura 77-3:</b> Tubería y accesorios para vapor.....	141
<b>Figura 78-3:</b> Proceso de unión de la tubería de cobre con los accesorios.....	142

<b>Figura 79-3:</b> Unión del sistema de tubería de cobre. ....	142
<b>Figura 80-3:</b> Instalación de la tubería de cobre en los cajones. ....	142
<b>Figura 81-3:</b> Colocación de las puertas de madera. ....	143
<b>Figura 82-3:</b> Cuarto de Máquinas. ....	143
<b>Figura 1-4:</b> Colocación del generador de vapor e Instalación en el cuarto de máquinas. ....	149
<b>Figura 2-4:</b> Colocación del quemador a diésel e instalación eléctrica de la caja de control. ....	150
<b>Figura 3-4:</b> Instalación del sistema de alimentación del combustible (diésel). ....	150
<b>Figura 4-4:</b> Instalación del sistema de alimentación de agua. ....	151
<b>Figura 5-4:</b> Instalación de la chimenea. ....	151
<b>Figura 6-4:</b> Verificación de las instalaciones. ....	152
<b>Figura 7-4:</b> Señalética cuarto de máquinas. ....	155
<b>Figura 8-4:</b> Señalética cuarto de baños de cajón. ....	156
<b>Figura 9-4:</b> Toma de parámetros del generador de vapor. ....	159

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-4:</b>	Consumo de Combustible Vs. Tiempo.....	160
<b>Gráfico 2-4:</b>	Presión Vs. Tiempo .....	161
<b>Gráfico 3-4:</b>	Porcentajes del régimen de trabajo del generador de vapor .....	162
<b>Gráfico 4-4:</b>	Presión Vs Tiempo .....	164
<b>Gráfico 5-4:</b>	Temperatura Vs Tiempo.....	166
<b>Gráfico 6-4:</b>	Humedad Vs Tiempo.....	168

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** PLAN DE MANTENIMIENTO
- ANEXO B:** GUÍA DE SOLUCIÓN DE PROBLEMAS OPERATIVOS
- ANEXO C:** PROPIEDADES DEL AIRE A LA PRESIÓN DE 1 ATM
- ANEXO D:** AGUA SATURADA. TABLA DE PRESIONES
- ANEXO E:** PROPIEDADES DEL AGUA SATURADA
- ANEXO F:** SECCIÓN II PARTE D CÓDIGO ASME (TABLA DE ESFUERZOS)
- ANEXO G:** RELACIONES GEOMÉTRICAS PARA COMPONENTES SOMETIDOS A PRESIÓN EXTERIOR O CARGAS DE COMPRESIÓN
- ANEXO H:** GRÁFICO PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE COMPONENTES SOMETIDOS A PRESIÓN
- ANEXO I:** RELACIONES GEOMÉTRICAS PARA COMPONENTES SOMETIDOS A PRESIÓN EXTERIOR O CARGAS DE COMPRESIÓN
- ANEXO J:** GRÁFICO PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE COMPONENTES SOMETIDOS A PRESIÓN
- ANEXO K:** RELACIONES GEOMÉTRICAS PARA COMPONENTES SOMETIDOS A PRESIÓN EXTERIOR O CARGAS DE COMPRESIÓN
- ANEXO L:** GRÁFICO PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE COMPONENTES SOMETIDOS A PRESIÓN
- ANEXO M:** RELACIONES GEOMÉTRICAS PARA COMPONENTES SOMETIDOS A PRESIÓN EXTERIOR O CARGAS DE COMPRESIÓN
- ANEXO N:** GRÁFICO PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE COMPONENTES SOMETIDOS A PRESIÓN
- ANEXO O:** PLANCHAS LAMINADAS AL CALIENTE (DIPAC)
- ANEXO P:** TUBERÍA PARA VAPOR (DIPAC)

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar y construir un sistema de baños de cajón para uso domiciliario. Según revisión bibliográfica los parámetros de funcionamiento son: presión de trabajo hasta 71 psi y temperatura de 100 - 150 °C del generador de vapor, de igual manera para los cajones la temperatura del vapor es de 30 – 60 °C y humedad relativa de 80 - 100%. Partiendo de los parámetros se realizó el diseño del generador de vapor conjuntamente con el código ASME para Calderas y Recipientes a Presión, se seleccionó los materiales adecuados y los instrumentos para el control del generador de vapor, luego de esta etapa se construyó el generador de vapor a diésel. Para el diseño y construcción de los cajones y cubas de agua fría se seleccionó el área adecuada en un domicilio y se dimensionó para una correcta distribución. Después de haber construido los cajones y cubas de agua se instaló el generador de vapor con los sistemas de alimentación de agua, combustible y la tubería de distribución de vapor hacia los cajones, también se realizaron pruebas de funcionamiento del sistema obteniendo los siguientes resultados, temperatura media del vapor de 45,479 °C y humedad media de 87,042% dentro de los cajones, presión media de ingreso de vapor hacia los cajones 1,6563 psi, el equipo tiene una potencia de 1,5 BHP, presión de trabajo de 40 psi y un consumo de combustible de 1,46 lt durante 40 min para generar vapor, con esto se logró una eficiencia del generador de 72%. Para mantener la eficiencia y prolongar la vida útil del generador de vapor se recomienda realizar un adecuado mantenimiento y un estudio de los diferentes anti incrustantes para mejorar la calidad del agua.

**Palabras clave:** <GENERADOR DE VAPOR>, <BAÑOS DE CAJÓN>, <PRESIÓN>, <COMBUSTIBLE>, <CÓDIGO ASME>.



Firmado electrónicamente por:  
**HOLGER GERMAN  
RAMOS UVIDIA**

1601-DBRA-UPT-2021

2021-08-20

## ABSTRACT

The objective of this work is to design and build a drawer bathroom system for home use. According to a bibliographic review, the operating parameters are: pressure work up to 71 psi and temperature of 100 - 150 o C of the steam generator, in the same way for Inside the drawers, the steam temperature is 30 - 60 o C and relative humidity is 80 - 100%. Starting off of the parameters, the design of the steam generator was carried out in conjunction with the ASME code for boilers and pressure vessels, the appropriate materials and instruments were selected for the control of the steam generator, after this stage the steam generator was built at diesel. For the design and construction of the drawers and cold water tanks, the area was selected adequate in a home and was sized for a correct distribution. After having built the drawers and water tanks, the steam generator was installed with the systems of feeding water, fuel and steam distribution pipe to the drawers, also system operation tests were carried out obtaining the following results, average steam temperature of 45.479 o C and average humidity of 87.042% inside the drawers, average steam inlet pressure to the drawers 1.6563 psi, the equipment has a power of 1.5 BHP, 40 psi working pressure and 1.46 lt fuel consumption for 40 min To generate steam, this achieved a generator efficiency of 72%. To keep the efficiency and prolong the useful life of the steam generator, it is recommended to carry out an adequate maintenance and a study of the different antiscalant to improve water quality.

**Keywords:** <STEAM GENERATOR>, <DRAWER BATHROOMS>, <PRESSURE>, <COMBUSTION>, <ASME CODE>.

LUIS  
FRANCISCO  
MANTILLA  
CABRERA

Firmado  
digitalmente por  
LUIS FRANCISCO  
MANTILLA CABRERA  
Fecha: 2021.08.30  
13:03:34 -05'00'

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad se ha notado un creciente interés por las terapias de salud alternativas y naturales, varias investigaciones han demostrado los múltiples beneficios de los baños de cajón. En el presente trabajo se desarrolla el diseño y construcción de un sistema de baño de cajón para uso domiciliario que ayudará a las personas a tener un sano esparcimiento dentro de su hogar, así como evitar el traslado a otros lugares en busca de este servicio ya que en la actualidad los spas o centros turísticos en los cuales brindan este servicio podrían ser medios de contagio de muchas enfermedades entre ellas Covid -19. Este sistema de baños de cajón consta de tres cajones mixtos (madera + concreto), tres cubas de agua fría y un generador de vapor el mismo que podrá ser utilizado en cualquier domicilio a nivel nacional e internacional pero los parámetros de uso deberán ser ajustados de acuerdo al lugar y condiciones.

La energía térmica es fundamental en el sistema de baños de cajón, ya que a partir de la generación de ésta; se pueden realizar los diferentes procesos para el correcto funcionamiento del sistema. Un correcto diseño y selección de elementos ayudará a economizar en costos de operación, simplemente adaptándose a los parámetros requeridos. Para ello es muy importante determinar los parámetros requeridos y a partir de ellos desarrollar el proyecto donde se realizará un diseño térmico y mecánico del generador de vapor, a partir de parámetros de operación como el volumen del cajón, temperatura máxima del vapor dentro del cajón y presión de trabajo del generador de vapor, así como la construcción e implementación del sistema de baños de cajón para el cual se realizará la selección del área adecuada en el domicilio. Una vez realizado el diseño y construcción del sistema de baños de cajón para su adecuado funcionamiento se medirá la temperatura, humedad relativa dentro del cajón y la presión de salida del vapor hacia los cajones.

Hay que tomar en cuenta que los elementos diseñados y seleccionados para el sistema de baños de cajón, deben cumplir con la demanda del consumo de vapor; siempre tratando de optimizar los recursos de los que se disponen. El estudio presentado a continuación, recoge toda la metodología para el cálculo y diseño del sistema de agua y vapor que permita el dimensionamiento y evaluación de los costos; brindando así un estudio de confianza para un posterior desarrollo de este tipo de proyectos.

## CAPÍTULO I

### 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Antecedentes

A partir de un proyecto desarrollado en Colombia donde se diseñó una planta térmica que genere vapor de agua para distintos lugares de un complejo, como puede ser: turco, duchas, sauna, lavandería, etc. Sitios en los cuales existe un consumo alto de energía eléctrica. Además se buscará un ahorro energético y un ahorro en los costos que se produce al usar el sistema mencionado. Se aporta así, a darle un uso más razonable y menor proporción a la energía eléctrica debido a que su uso no siempre es la más adecuada, y en muchos de los casos se pueden producir costos excesivos, en comparación a los que se dan en el sistema que se va a diseñar. (Gallegos, 2015).

Para Mariuxi Egas médica nutricionista el uso de los baños de cajón provocan deshidratación en los usuarios lo que hace que los mismos bajen de peso temporalmente. Además Egas recomienda que antes de tomar un baño de cajón se realice un examen de sangre y se tomen la presión para verificar que el paciente no tenga ningún problema, esto debería acompañarse de una alimentación equilibrada. Gonzalo Calero dermatólogo piensa que los baños de cajón es un método de relajamiento, siempre que el usuario no esté dentro de los cajones por mucho tiempo y que no exista ningún tipo de contaminaciones. Muchos de los cajones están elaborados de madera de pino y para realizar el baño se usan plantas medicinales como: menta, manzanilla, eucalipto entre otras. La sesión de tomar el baño de cajón dura entre 40 y 60 minutos. También durante el baño los usuarios deben hidratarse con aguas aromáticas, cada sesión tiene un costo de entre 5 y 6 dólares por cada usuario. Los baños de cajón según Manuel Lezaeta Acharan son parte de una termoterapia la cual ayuda a limpiar la sangre. (El Universo, 2016)

Dada la situación que el mundo está atravesando las personas necesitan tener un esparcimiento sano el cual se lo puede desarrollar en sitios turísticos o spa, pero en dichos lugares los saunas y turcos hoy en día ya no son medicinales producto de esto se crean los baños de cajón que son individuales, más higiénicos y menos contaminantes, además este tipo de sistemas se puede instalar en ciertos lugares de un domicilio como un cuarto que es usado para bodega o cuartos que en muchas de las veces están desocupados aprovechándolos de una mejor manera.



## **1.2. Delimitación**

### **1.2.1. Delimitación espacial**

Se realizará el diseño y construcción de un sistema de baños de cajón con su respectivo generador de vapor en base a parámetros de funcionamiento como presión de trabajo, temperatura, consumo de combustible, potencia y eficiencia del generador de vapor, temperatura del vapor y humedad relativa dentro y fuera de los cajones, presión de entrada de vapor hacia los cajones, así como la implementación e instalación del sistema de baño de cajón dentro de un área adecuada en un domicilio.

## **1.3. Formulación del problema**

El riesgo que surge en el uso de los baños de cajón en los Spas o centros turísticos es el contagio debido a la pandemia, su costo por cada sesión y la distancia que hay que recorrer en algunos casos para conseguir un centro que brinde estos servicios, además existen personas con discapacidad física que necesitan este tipo de medicina natural y relajamiento pero debido a su condición es muy complicado que ellos acudan a realizarse estos tipos de baños de cajón.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Diseñar y construir un sistema de baños de cajón para uso domiciliario

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar los parámetros de funcionamiento y diseñar el generador de vapor.
- Construir el generador de vapor para el sistema de baños de cajón.
- Diseñar y construir el sistema de baños de cajón para uso domiciliario.
- Instalar el sistema de baños de cajón y realizar pruebas de funcionamiento.

## CAPÍTULO II

### 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1. Sistema de vapor

Los sistemas de vapor forman parte de casi todos los procesos industriales importantes en la actualidad. El treinta y siete por ciento del combustible fósil quemado en la industria a nivel mundial se quema para producir vapor. Este vapor, a su vez, se utiliza para calentar procesos, para concentrar y destilar líquidos, o se utiliza directamente como materia prima (Einsten et al., 2011).

#### 2.2. Caldera

En virtud al requerimiento de los Spa, dependiendo el número de cajones y teniendo como base que la demanda de vapor necesaria es baja se utiliza calderas que satisfagan estas necesidades.

Una caldera de vapor es un recipiente cerrado, generalmente de acero, en el que el agua es calentada por alguna fuente de calor producida por la combustión del combustible y finalmente para generar vapor. El vapor producido puede suministrarse a baja presión para trabajos de procesos industriales en fábricas de algodón, industrias azucareras, etc. y para producir agua caliente que se puede utilizar para instalaciones de calefacción a muy baja presión (Steam Boiler, 2017). Como su propio nombre indica, estas calderas tienen como fluido calor portador el agua que lo convierten en vapor y se pueden clasificar según la disposición de los fluidos en: calderas de tubos de agua o acuotubulares y calderas de tubos de humos o pirotubulares. (Ferroli, 2018)

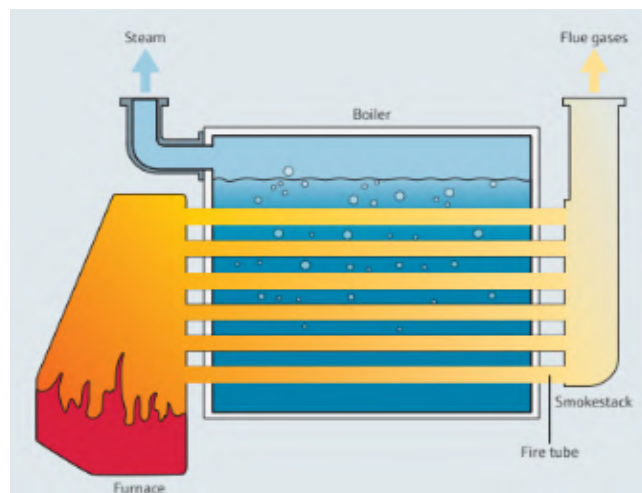


**Figura 1-2:** Caldera pirotubular de dos pasos de humo y Caldera acuotubular

Fuente: (Barrera, 2010)

### 2.3. Calderas pirotubulares

Las calderas pirotubulares que se conocen hoy en día y como se muestran en la figura 2-2. Antes de llegar a la moderna caldera empaquetada que fue introducido por primera vez en el siglo XX en los Estados Unidos de América. Como sugiere el nombre, los productos de combustión en lugar de agua o vapor fluyen dentro de los tubos. Existe una multiplicidad de diseños de calderas MTHS, y la eficiencia de una caldera está determinada por la disposición y el tamaño de los pasos del tubo de transferencia de calor por convección, según el principio general de que cuanto mayor sea el área de superficie de transferencia de calor por convección, mayor será la eficiencia, aunque en mayor costo y complejidad. En este tipo de calderas los gases calientes circulan por dentro de los tubos y el agua circula por el exterior de estos, en ellas se genera agua caliente o vapor saturado. (Roberts et al., 2017).



**Figura 2-2:** Caldera Pirotubular.

**Fuente:** (Roberts et al., 2017)

Las calderas pirotubulares funcionan con varios tipos de combustibles, tanto sólido, líquido, o gaseoso, funcionan con bajas pérdidas por incombustión mecánica y química. El volumen que ocupa el vapor se encuentra entre 12 y 14 % del volumen total de la caldera, este criterio es tomado en cuenta por los diseñadores de estos equipos. Actualmente se fabrican calderas que alcanzan capacidades de hasta 30 t/h de producción de vapor, con presiones de hasta 3 MPa. (Lapido, 2015)

Las calderas pirotubulares se clasifican en:

- Calderas pirotubulares horizontales
- Calderas pirotubulares verticales

Las calderas verticales son de mucha utilidad cuando el espacio en la planta es reducido y únicamente se necesita de presiones relativamente bajas en la salida de vapor, es una unidad equipada interiormente por tubos de gases. Una de sus ventajas es la capacidad y manejabilidad, el bajo costo de instalación con un grado de sencillez en la misma, por otro lado, una desventaja es el desperdicio de calor emitida por la chimenea producto de los gases de combustión (Giron, 2010).



**Figura 3-2:** Caldera pirotubular vertical

**Fuente:** (Ferrol, 2018)

La caldera de tubos vertical, está constituida por un cuerpo cilíndrico vertical de acero con dos espejos transversales a los que están conectados cierto número de tubos de pequeño diámetro por donde fluye el combustible. El calor generado por los gases de combustión pasa al agua de la caldera a través de las placas del hogar (Giron, 2010).

### **2.3.1. Principio de funcionamiento de la caldera pirotubular vertical**

En la cámara de combustión (hogar) se produce la quema de combustibles, es aquí donde se producen una gran cantidad de gases calientes, los mismos que circulan por tubos de diámetro muy pequeños llamados fluses en donde se da la transferencia de calor hacia el agua que se encuentra en el exterior, pero contenida dentro de la carcasa. Finalmente, los gases producto de la combustión salen con baja temperatura y bajo contenido energético y el calor absorbido por el agua es empleado, eleva tanto la temperatura de la misma que es capaz de producir vapor, con los parámetros de presión y temperatura requeridos para los diferentes procesos (Lapido, 2015).

### ***2.3.2. Estructura de la caldera pirotubular vertical***

La estructura de las calderas pirotubulares está compuesta principalmente por:

- Hogar o cámara de combustión
- Haz de tubos o fluses
- Placas
- Carcasa
- Cámara de agua
- Cámara de vapor (Lapido, 2015)

#### *2.3.2.1. Hogar o cámara de combustión*

Es esta la parte donde las calderas pirotubulares, realizan una reacción química producto de la quema de combustible. Esta energía calórica proveniente pasa por los tubos de humos o fluses, mismos que se encuentran dentro del agua y hacen que se genere vapor a alta presión y temperatura. La mayor parte del calor y energía del quemador es transferida en esta parte de la caldera y este es cedido en mayor parte por radiación. El hogar debe tener longitud, diámetro y disposición adecuados para permitir una correcta formación de la llama. (Servitec, 2019)

#### *2.3.2.2. Haz de tubos*

El haz de tubos es una de las partes principales de la caldera ya que por ellos se desprenden los gases originados en la combustión, la función de estos es realizar la transferencia de calor agua que se encuentra alrededor de los mismos (Servitec, 2019). Cabe recalcar que, en muchas ocasiones los gases provenientes de la combustión se hacen circular más de una vez en el agua de la caldera, esto se debe a que hay que aprovechar al máximo la energía que aún se encuentra en los gases calientes para así lograr una mayor eficiencia en el equipo obteniendo temperaturas de 250°C que es un parámetro normal para que las calderas se encuentren bien diseñadas (Cordova y Larreátegui, 2011: p 26).

#### *2.3.2.3. Carcasa*

Es la parte externa de la caldera dentro de la cual se encuentra la cámara de combustión y el haz de tubos. Generalmente, estos se blindan con un material aislante, como la fibra de vidrio para evitar la fuga de calor hacia los exteriores (Cordova y Larreátegui, 2011).

#### 2.3.2.4. Espejos

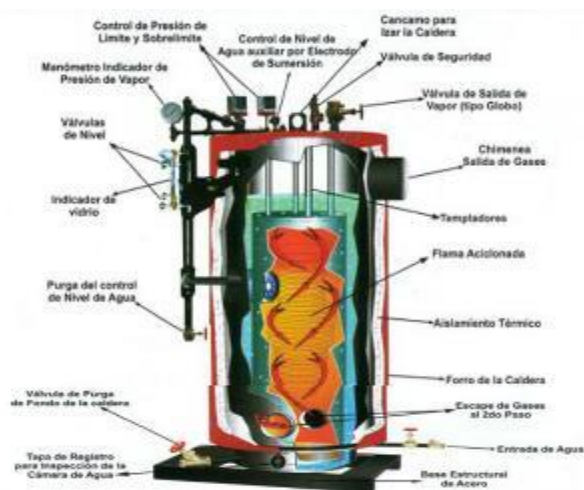
Esta parte es la que se encarga de sostener el haz de tubos y la cámara de combustión. Se encuentra en la parte interna la carcasa. Por lo general, los espejos no son capaces de sostener el peso del haz de tubos y necesitan de tensores para desempeñar de forma correcta el soporte (Loyola, 2014).

#### 2.3.2.5. Cámara de agua

Es el volumen en el interior de la caldera que está ocupado por el agua que contiene y que generalmente ocupa las tres cuartas partes del cilindro. Este nivel de agua no debe descender para su correcto funcionamiento y desempeño. (Abarca, 2015)

#### 2.3.2.6. Cámara de vapor

Es el volumen que queda sobre el nivel superior máximo de agua y en el cual se almacena el vapor generado por la caldera. En este lugar se separa el valor del agua mediante suspensión. Por esta razón, algunas calderas tienen un pequeño cilindro en la parte superior de esta cámara, llamada “domo”, y que contribuye a mejorar la calidad del vapor, este domo lo hace al aire más seco y cuando el consumo de vapor varía de forma relevante el volumen de esta cámara debe ser mayor con el fin de garantizar la distancia entre el nivel del agua y la toma de vapor (Abarca, 2015).



**Figura 4-2:** Partes de la caldera pirotubular

**Fuente:** (Fernandez, 2014)

### **2.3.3. Accesorios de la caldera pirotubular vertical**

Los accesorios también forman parte de la estructura principal de la caldera que nos permitirá el funcionamiento y control de la misma, son los que se mencionan a continuación.

#### **2.3.3.1. Control de nivel de agua**

Las calderas requieren elementos de control y entre los más importantes tenemos el control de nivel de agua, el mismo que está diseñado para emitir alertas cuando los niveles de agua dentro de la caldera sean demasiado bajos. Para así, activar un sensor que indique se controle la inyección de agua. (Azola, 2016)



**Figura 5-2:** Sensor de nivel de agua.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

#### **2.3.3.2. Válvula de seguridad**

Elemento que controla la presión de la caldera, cuando esta suba por encima del valor permitido, debe liberar dicha presión del vapor con el fin de evitar sobrepresiones en los elementos y equipos. (Sarco, 2015)



**Figura 6-2:** Válvula de seguridad.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

### 2.3.3.3. *Válvula de corte del suministro de vapor*

Elemento que está instalada en la salida de vapor de la caldera para cortar el flujo de vapor cuando exista sobrepresiones (Sarco, 2015).

### 2.3.3.4. *Purgas*

Equipos como las calderas disponen de una salida en el punto más bajo de los mismos, con el fin de eliminar de forma periódica todos los sólidos precipitados en el proceso de generación de vapor. También se los conoce como purga de fondo. Se requiere una descarga breve y súbita para una eliminación eficiente, que se consigue abriendo una válvula de gran paso que elimina grandes cantidades de agua de caldera. (Sarco, 2015)

### 2.3.3.5. *Pressuretrol*

Dispositivo de seguridad que regula la presión a la requerida. En todos los casos actúa bloqueando el paso del fluido caliente (gases de combustión) para posteriormente activar la alarma que indica niveles altos de presión (INTI, 2015).

Los presostatos se utilizan para:

- Identificar una presión excesiva del combustible en todo tipo de calderas
- Detectar baja presión del combustible, mismas que no impidan el correcto funcionamiento de todo tipo de calderas.
- Actualmente, en calderas automáticas se incorpora un presostato para detectar posibles fallas en el suministro del aire de combustión. (INTI, 2015)



**Figura 7-2:** Pressuretrol FENSHEN

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.



### 2.3.3.6. Manómetro

Es un indicador que nos permite visualizar la presión de trabajo al interior de la caldera. El conocimiento de esta presión es necesario desde el punto de vista de seguridad. El manómetro más conocido y utilizado en calderas es el manómetro de Bourdon (Cordova y Larreategui, 2011).

El manómetro de Bourdon, es instalado en las calderas, indica la presión efectiva que el vapor ejerce sobre cada centímetro cuadrado, es decir, la presión total o absoluta, disminuida de la presión de la atmósfera. Cuando la caldera está apagada, el manómetro marca 0, y esto quiere decir que la presión al interior de la caldera iguala la presión de la atmósfera al exterior. (Xtec, 2010)



**Figura 8-2:** Manómetro GENE BRE

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

### 2.3.3.7. Cristal de nivel de agua

Este elemento de seguridad consta de un tubo de vidrio que se une a la columna de nivel de agua para poder visualizar el nivel de la misma dentro de la caldera desde el exterior. Esta es continuamente vigilada por el personal de mantenimiento ya que garantiza un correcto funcionamiento de la caldera (Powermaster, 2012).



**Figura 9-2:** Cristal de nivel de agua

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

#### 2.3.3.8. *Termostato*

El Termostato Rainbow es un modelo de termostato capilar flexible, este medidor de temperatura cuenta con elementos que permiten controlar la temperatura en diferentes equipos como calderas. (Thermic, 1998)



**Figura 10-2:** Termostato Rainbow TS-320SR

**Fuente:** (Thermic, 1998)

## 2.4. Sistema de alimentación y descarga

### 2.4.1. *Alimentación de agua*

Mediante una bomba de alimentación, se suministra la columna de agua a la caldera. El nivel dentro de la caldera fluctúa dentro de un rango predeterminado de aproximadamente dos pulgadas, la bomba se enciende y se paga de acuerdo a la necesidad y consumo de vapor en los procesos. Generalmente, estas bombas cuentan con un sistema de encendido y apagado. Este método resulta económico y confiable cuando las demandas de vapor no superan los niveles establecidos en el diseño o cuando las calderas son menores a aproximadamente 600 HP. En

calderas mayores a este valor, se puede causar movimiento súbito de agua dentro de la caldera y problemas de encendidos y apagados de la bomba de alimentación de agua demasiado frecuentes (Powermaster, 2012)

Las bombas más comunes usadas para la alimentación de agua a calderas. Son las bombas periféricas también llamadas regenerativas o de vórtice que garantizan el proceso para el cual fueron seleccionadas (PEDROLLO, 2021).



**Figura 11-2:** Bomba periférica de alimentación de agua PEDROLLO.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

#### **2.4.2. Tuberías de agua de alimentación**

Las tuberías de agua de alimentación deben poseer un diámetro mínimo de  $\frac{3}{4}$  pulgadas, fabricados en acero A-53 (valor de esfuerzo a la tensión 48 000 a 60 000 psi). Este tubo alimentador debe estar provisto de una válvula de retención cerca de la caldera y una válvula de compuerta entre la válvula de retención y la caldera. Es indispensable que una caldera posea, al menos dos medios de alimentación, uno de ellos podría ser un inyector. Un aspecto a tomar muy en cuenta es que, por ningún motivo se debe alimentar al caldero directamente desde la línea de agua potable. (Olivares, 2010)

#### **2.4.3. Tubería Galvanizada**

Este tipo de tubería que posee un recubrimiento de zinc, se usa principalmente para el transporte de agua potable. Las características de los materiales aleantes ayudan al acero a protegerse de la corrosión, adicionalmente el zinc evita la acumulación de depósitos minerales que pueden obstruir la tubería de agua. Este tipo de tubería después de su proceso de manufactura inicial, se le aplica dicho galvanizado que puede solo internamente y para otras aplicaciones también se lo aplica externamente (González, 2017).

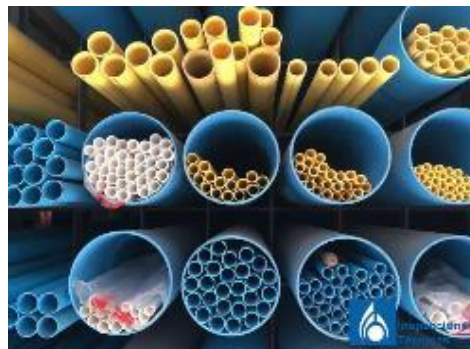


**Figura 9-2:** Tubería Galvanizada

**Fuente:** (González, 2017)

#### **2.4.4. Tuberías de PVC**

El principal uso de las tuberías de este tipo es el transporte de agua a alta presión, siempre considerando la temperatura del agua; ya que si se manejan altas temperaturas pueden provocar deformaciones en la tubería y en la línea de alimentación de agua. La mayor parte de las tuberías de PVC son de color gris o blanco que son las más utilizadas a nivel doméstico, mientras que en la industria se pueden observar la tubería de PVC en color azul. (Tecnicas, 2021)



**Figura 10-2:** Tubería de PVC

**Fuente:** (Tecnicas, 2021)

#### **2.4.5. Línea de descarga de vapor**

La línea que sirve para la descarga de vapor, debe poseer válvulas de cierre que sean de cierre lento, generalmente se las coloca muy cerca de la salida de vapor de la caldera y en un punto de fácil acceso, no se las coloca próximas a válvulas de seguridad o supercalentadores. La línea de vapor es de acero ASTM A53, mismo que posee propiedades óptimas para el transporte del vapor de agua. En el caso de que el flujo de vapor tenga una presión muy alta y esto provoque

algún tipo de vibración se recomienda el uso de un receptáculo de vapor en las juntas de expansión (Olivares, 2010). En industrias donde hay alta demanda de vapor y sea necesario la instalación de dos calderos; estas deben poseer un colector de vapor y en las tuberías se debe instalar válvulas de cierre y válvulas automáticas sin retorno. Un aspecto muy importante se debe empotrar la tubería ya sea en el suelo o paredes ya que se impide la dilatación de las mismas. (Olivares, 2010)

#### **2.4.6. Tubería negra sin costura**

La tubería de acero negro fabricada en acero ASTM A53, que posee un revestimiento de óxido de hierro escamoso, el cual le da su característico color oscuro. Su principal uso es para el transporte de gas ya sea de uso doméstico o industrial y en casos en que el acero galvanizado no sea indispensable, abaratando costos en las líneas de transporte. No se recomienda su uso para el transporte de agua potable. (HSCO, 2017)



**Figura 11-2:** Tubería Negra sin Costura

Fuente: (HSCO, 2017)

#### **2.4.7. Tubería de Cobre**

Las tuberías de cobre poseen una gran ventaja frente a las fabricadas en otros materiales, ya que por su proceso de manufactura (laminadas en frío) no posee costuras lo que lo hace resistente a altas presiones, sus usos son tanto para líneas de agua, gas o vapor. Al poseer una estructura completamente lisa se minimizan las pérdidas por fricción con el fluido. Sus dos temple en los tipos normales de fabricación, rígido y flexible, dan al usuario una mayor gama de usos que otras tuberías que se fabrican en un solo temple. (Nacobre, 2015)



**Figura 12-2:** Tubería de Cobre

Fuente: (Nacobre, 2015)

#### **2.4.8. Válvulas**

Estos dispositivos mecánicos se utilizan para controlar el flujo y la presión dentro de un sistema; a través de una pieza móvil que abre u cierra uno o más conductos. Son dispositivos necesarios en un sistema de tuberías que transporta fluidos. Hay diferentes tipos de válvulas disponibles: compuerta, globo, tapón, bola, mariposa, retención, diafragma, pinza, alivio de presión, válvulas de control, etc. Cada uno de estos tipos tiene varios modelos con diferentes características y capacidades funcionales. Algunas válvulas se controlan por sí mismas mientras que otras se manejan manualmente o de forma neumática o hidráulica. (Vpica, 2018)

#### **2.4.9. Uniones de Tuberías**

Para las líneas de descarga de vapor se requieren uniones que sean roscadas y soporten presiones altas. Las uniones de tuberías para estas aplicaciones suelen ser de acero tratado térmicamente para garantizar un grado mayor de resistencia que el acero de la tubería con el fin de garantizar los ajustes de entre ciclos de roscado. Adicionalmente, las uniones para tuberías de vapor deben garantizar que no haya fugas en la línea y deben ser seleccionadas de acuerdo a la presión de salida del vapor. (Schlumberger, 2020)

### **2.5. Conceptos termodinámicos**

#### **2.5.1. Conceptos fundamentales sobre generación de vapor**

Para el diseño y construcción de un sistema de generación de vapor es de gran importancia conocer los conceptos termodinámicos relacionados con dicho proceso de generación, mismos que se detallan a continuación.

##### **2.5.1.1. La energía**

La energía es la base de cada actividad de vida humana en el planeta. Gracias a ella, somos capaces de calentar, encender, transportar o simplemente producir fuerza. Podemos obtener energía a partir de fuentes o recursos energéticos como pueden ser el viento, el sol, el agua, el carbón, el petróleo o el gas que se consideran fuentes de energía primarias y que se clasifican a su vez en renovables y no renovables. Por otro lado, a partir de energía primaria también se genera energía secundaria que ya sufre algún proceso de cambio. Un ejemplo de energía renovable es el agua y una energía no renovable son los combustibles fósiles (Velásquez, 2014, p. 6).

#### 2.5.1.2. Vaporización

La energía calorífica proveniente de los gases de combustión, hacen que el agua a temperatura de suministro aumente su temperatura y presión al punto de cambiar de fase. Las propiedades del vapor, varían dependiendo de las condiciones de presión y temperatura a la que se encuentra sujeto (Velásquez, 2014, p. 20). En el caso del agua, el vapor puede ser:

- Vapor saturado
- Vapor húmedo
- Vapor recalentado
- Vapor sobrecalentado (Velásquez, 2014, p. 20).

#### 2.5.1.3. Evaporización

Este fenómeno se da únicamente en la superficie libre del líquido y en la superficie de la masa líquida. Por ejemplo, cuando el agua de mar aumenta su temperatura, o también en cualquier superficie libre del líquido en donde se dé un aumento de temperatura. (Jaramillo, 2009)

#### 2.5.1.4. Ebullición

Este fenómeno se da cuando el agua o el líquido que se trata están en estado de líquido. La ebullición de un líquido tiene lugar a una temperatura, cuyo valor depende de la presión a que está el líquido, mientras más alta la presión más alta es la temperatura que se necesita para que se dé el fenómeno y se da en toda la superficie de la masa líquida. (Jaramillo, 2009)

#### 2.5.1.5. Condensación

La condensación es el proceso mediante el cual el vapor de agua del aire se transforma en agua líquida. Generalmente, en ciclos de generación de vapor, el vapor de agua que se da lugar en el caldero, después de su utilización se condensa en un intercambiador de calor y luego se devuelve a la caldera a través de las bombas de alimentación para ser nuevamente usado. (Condensing Steam, 2002)

#### *2.5.1.6. La temperatura de un cuerpo*

Es su estado térmico considerado con referencia a su poder de ceder calor a otros cuerpos que poseen menor temperatura. (Jaramillo, 2009)

#### *2.5.1.7. Combustión*

La combustión es un proceso químico en el que una sustancia reacciona rápidamente con el oxígeno y emite calor. La sustancia original se llama combustible y la fuente de oxígeno se llama oxidante. El combustible puede ser sólido, líquido o gaseoso, para la generación de vapor se utiliza combustibles fósiles en estado líquido (Condensing Steam, 2002).

#### *2.5.1.8. El BTU (British Thermal Unity)*

BTU son las siglas de British Thermal Units y es una medida de energía térmica. Se utilizó por primera vez a finales del siglo XIX y desde entonces se ha convertido en una de las unidades de clasificación más comunes en los aparatos de calefacción / refrigeración. 1 BTU es la energía necesaria para calentar o enfriar una libra de agua a 1 grado Fahrenheit al nivel del mar (Jaramillo, 2009).

#### *2.5.1.9. Kilocaloría*

La kilocaloría es una unidad de energía definida como la cantidad de energía térmica necesaria para elevar la temperatura de un kilogramo de agua en un grado Celsius (o un kelvin) (Jaramillo, 2009).

#### *2.5.1.10. Volumen específico del vapor*

En los sistemas de vapor industrial es el concepto de volumen específico. Si una masa de 1 kg de agua (1 litro o 0,001 m<sup>3</sup> de volumen a 20°C) se convierte en su totalidad en vapor, el resultado será exactamente 1 kg de masa de vapor. (Jaramillo, 2009)



#### *2.5.1.11. Energía interna*

La energía interna se define como la suma de todas las energías microscópicas de un cuerpo o sistema. Relaciona la estructura molecular y se puede considerar como la suma de las energías cinética y potencial de las moléculas (Cengel y Boles , 2012).

#### *2.5.1.12. Entalpía*

Entalpía, suma de la energía interna y el producto de la presión y el volumen de un sistema termodinámico. La entalpía es una propiedad similar a la energía o una función de estado: tiene las dimensiones de la energía (y, por lo tanto, se mide en unidades de joules o ergios), y su valor está determinado completamente por la temperatura, la presión y la composición del sistema. Su simbología es, H. (Jaramillo, 2009)

#### *2.5.1.13. Entropía*

Es una cantidad termodinámica que representa la energía térmica que no dispone un sistema para su conversión en trabajo mecánico, a menudo interpretada como el grado de desorden o aleatoriedad en el sistema. En el sistema MKS viene expresada en Kcal / kg °K (Kilocalorías por kilogramo, grados Kelvin). (Jaramillo, 2009)

### **2.5.2. Transferencia de calor en calderas**

Básicamente existen tres diferentes maneras en la cual viaja el calor en las calderas. Estas son conducción, convección y radiación.

#### *2.5.2.1. Conducción*

La conducción es la transferencia de energía a través de un material sólido. La conducción entre cuerpos ocurre cuando están en contacto directo y las moléculas transfieren su energía a través del contacto directo (Cengel, 2008). La capacidad de un material que define si es buen conductor de calor, se denomina "Conductividad Térmica" y está expresada en Kcal/h °C m. A su vez, la conductividad térmica es función de la temperatura del material (Lifschitz, 2005).

#### 2.5.2.2. *Convección*

La convección se refiere a la transferencia de calor hacia un fluido. Las moléculas en un líquido o gas cuando se unen con un cuerpo sólido absorben o transmiten calor hacia ese cuerpo y luego se alejan, de esta manera permiten que otras moléculas se muevan a su lugar y repitan el proceso. Para mejorar la eficiencia se puede aumentar el área de la superficie a enfriar o calentar, como con un radiador, y forzando al fluido a moverse sobre la superficie, como con un ventilador. Este fenómeno puede darse de dos formas distintas: convección natural o forzada (Cengel, 2008).

- **Convección natural**

La convección natural o convección libre, es un sistema de transporte de masa y calor, en el que las diferencias de densidad de un fluido provocan el movimiento del mismo, esta diferencia se produce por la variación de temperatura. En este tipo de convección el fluido que rodea la fuente de calor también recibe calor además se vuelve menos denso y se eleva debido a la expansión térmica. Esta expansión tiene un papel importante. Es decir que los componentes con mayor peso caerán y los con menos peso subirán, lo que provoca un movimiento del fluido a granel. (Cengel, 2008).

- **Convección forzada**

La convección forzada es un tipo especial de transferencia de calor en el que los fluidos se ven obligados a moverse para aumentar la transferencia de calor. Este forzamiento se puede hacer con un ventilador de techo, una bomba, un dispositivo de succión u otro (Lifschitz, 2005).

#### 2.5.2.3. *Radiación*

La transferencia de calor por radiación se da por la transferencia por ondas electromagnéticas. Es diferente de la conducción y la convección, ya que no requiere la presencia de ninguna materia o medio. La energía radiactiva pasará perfectamente a través del vacío y del aire limpio. Mientras que la conducción y la convección dependen de las diferencias de temperatura hasta aproximadamente la primera potencia, la transferencia de calor por radiación depende de las diferencias de las temperaturas de la superficie corporal individual hasta la cuarta potencia. El calor irradiado por un cuerpo depende en muchas veces de su tamaño, forma y composición, pero principalmente es directamente proporcional a la temperatura absoluta ( $T_{abs} = \text{Temp.}^{\circ}\text{C} + 273^{\circ}\text{C}$ ) elevada a la cuarta potencia. Esto quiere decir que si la temperatura absoluta de un cuerpo se eleva al doble, el calor irradiado por éste será ahora de 16 veces mayor (Cengel, 2008).

## 2.6. Parámetros de diseño y operación

Inicialmente para realizar el diseño del equipo, es necesario conocer los parámetros de operación del mismo, también se pueden asumir condiciones de ingeniería en las cuales se pueda aplicar modelos de cálculo y así garantizar el óptimo funcionamiento del sistema diseñado; teniendo valores cuantificables, confiables y que puedan ser controlados. Posteriormente, se pasa a la fase de selección de materiales, siempre manteniéndose a la vanguardia de la tecnología de la construcción, decidiendo el lugar apropiado para el proceso de producción industrial. La construcción y desarrollo del modelo solicitado debe cumplir parámetros de volumen, presión y temperatura de salida de la caldera pirotubular. (Moreno, 2009)

Para el cálculo del volumen interior del baño de cajón, que es el parámetro inicial para el diseño de la caldera, se debe considerar las dimensiones del espacio en el que se encuentran los baños de cajón (Moreno, 2009).

### 2.6.1. Presión de trabajo

En el diseño de sistemas de generación de vapor con calderas pequeñas o de baja presión, la presión de trabajo oscila entre los 55 a 70 psi. La presión de vapor a la salida del caldero se la mide mediante un manómetro ubicado en la tubería de descarga, también se puede conocer dicha presión conociendo la temperatura del vapor obtenido en el proceso. (CACME, 2020).

La presión del aire atmosférico en condiciones normales es:

$$1\text{atm} = 760\text{mmHg} = 1.033 \text{ Kg / cm}^2 = 14.7 \text{ lb / pulg}^2 = 1.013 \text{ Bar. (Jaramillo, 2009)}$$

- Presión  
Es la fuerza por unidad de área (o superficie) que se ejerce sobre un cuerpo. (Jaramillo, 2009)
- Presión manométrica  
La presión manométrica es la presión medida en relación con la presión atmosférica ambiental. La presión manométrica se puede medir usando un manómetro que tiene un sensor de diafragma, donde un lado del diafragma está expuesto al medio de presión que se va a medir, mientras que el otro lado está expuesto a la presión atmosférica ambiental. (Jaramillo, 2009)
- Presión absoluta  
Una medición de presión absoluta o un valor de presión ejercido por un gas, vapor o líquido es un valor de presión medido en relación con un vacío de referencia perfecto. Una presión

de vacío perfecta se define como presión cero y, en consecuencia, una referencia fija para medir la presión absoluta, esta resulta de la suma de la presión manométrica más la presión atmosférica. (Jaramillo, 2009)

### **2.6.2. *Temperatura de vapor***

El vapor que se utiliza en lugares que poseen baños de cajón, tienen temperaturas que oscilan entre los 30 y 60 °C, temperaturas optimas definidas por el requerimiento del cliente (Acharan, 1997). Es indispensable el control de temperatura a la salida de la línea de vapor, y se lo realiza mediante un sensor que cuenta con una termocupla que mide dicho parámetro y si no se cuenta con un instrumento de medición se recomienda medir dicha temperatura en un punto de relevancia donde la descarga de vapor sea limpia y aumentar 15°C (CACME, 2020).

### **2.6.3. *Producción de vapor***

La producción de vapor es la capacidad de generación del caldero, por lo general, este parámetro se mide en Kg/h o lb/h. Para baños sauna es necesario conocer el volumen de la habitación donde se ubicará el baño sauna para conocer la cantidad de vapor necesaria para el servicio. (Jaramillo, 2009)

### **2.6.4. *Flujo de vapor***

Al igual que la producción de vapor este parámetro se mide en Kg/h o lb/h. Termodinámicamente se puede considerar al baño de cajón o sauna como un volumen de control, en donde se realiza un balance energético considerando un proceso de estado y flujo estable con el vapor de agua que llega desde la caldera (Moreno, 2009).

Para medir el flujo de vapor, se debe ubicar un dispositivo que mida el flujo de salida desde el caldero. (CACME, 2020)

### **2.6.5. *Caballo caldera***

Caballo caldera (cc) es la producción de 15.6 Kg/h (34.5 lb/h) de vapor saturado a 100°C (112°F) utilizando agua de alimentación a la misma temperatura. (Jaramillo, 2009)

### **2.6.6. *Combustión***

Para que las calderas creen la energía termodinámica que se encuentra en el vapor, deben liberar energía de una fuente de combustible. Esto se hace mediante combustión. La combustión es el proceso de encender y quemar una fuente de combustible. A medida que la fuente de

combustible se quema, libera energía en forma de calor que luego se puede utilizar para transformar el agua en vapor. Se necesita combustión para alimentar las calderas.

El sistema de combustión de la caldera y la eficiencia con la que funciona es el núcleo del funcionamiento de una caldera eficiente. Muchos avances significativos en la tecnología de calderas son el resultado directo de optimizar el sistema de combustión y permitir que la caldera sea más eficiente en el consumo de combustible. Cuanto más eficiente sea la caldera, menor será el costo de operación y mejor será la producción de energía. (CACME, 2020)

#### 2.6.6.1. Tipos de combustión

- Combustión completa

El calor generado, es lo que se utiliza para agregar energía a la caldera y crear agua caliente o vapor. Los productos de la combustión son CO<sub>2</sub> (un indicador de combustión completa; cada combustible tiene un % máximo de CO<sub>2</sub> que indica la combustión más completa y eficiente), H<sub>2</sub>O (vapor de agua) y CO (una indicación de combustión incompleta). Los subproductos son óxido nítrico, óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y, dependiendo del combustible, puede haber algunos compuestos a base de azufre u otros. Cualquier aire (compuesto principalmente de oxígeno y nitrógeno), en el gas de combustión, no utilizado por el proceso de combustión se denomina exceso de aire. Esto se expresa típicamente como el porcentaje de O<sub>2</sub> presente en la descarga de humos de calderas. (CACME, 2020)

- Combustión incompleta

La combustión incompleta ocurre cuando no hay suficiente oxígeno para permitir que el combustible reaccione completamente con el oxígeno para producir dióxido de carbono y agua, y también cuando la combustión es apagada por un disipador de calor como una superficie sólida o una trampa de llama. Como producto de la combustión se forman sustancias químicas como CO, H<sub>2</sub>, C, H<sub>2</sub>S, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>. Que en muchos casos son contaminantes y que generalmente son expulsados a la atmósfera (CACME, 2020).

- Combustión teórica o estequiométrica

Se requiere una cantidad mínima de oxígeno para completar el proceso de combustión de una determinada cantidad de combustible. Si tuviera que quemar un combustible en esta proporción

exacta, esto se llamaría combustión estequiométrica. Esta es la combustión “ideal”, donde el aire y el combustible se consumen por completo y no hay exceso. (CACME, 2020)

- Combustión con exceso de aire

Cuando hay demasiado aire en el proceso de combustión, se quema combustible adicional para elevar la temperatura de este exceso de aire a la temperatura de combustión. El exceso de aire absorbe el calor que sube por la chimenea, en lugar de hacerlo durante el proceso. (CACME, 2020)

### **2.6.7. Combustible**

El principal parámetro para la selección del combustible de la caldera es la zona donde se va a ubicar la caldera. Los combustibles principales de las calderas son el carbón, el petróleo y el gas. El petróleo y el gas involucran los controles más simples, ya que se pueden medir fácilmente y el flujo está regulado por una válvula de control en la línea de combustible. Por otro lado, dado que el carbón es un combustible no medido, el sistema de control es de circuito abierto, en el que una señal de demanda de combustible coloca directamente un dispositivo de alimentación de carbón. Como se observa un caldero puede tener diferentes combustibles y cada uno cuenta con un poder calorífico diferente el mismo se define como su contenido de energía en base másica o volumétrica. La mayoría de los combustibles sólidos y líquidos definen su poder calorífico según la masa (GJ/ton, kJ/kg o kcal/kg). La mayoría de los combustibles gaseosos definen su poder calorífico según el volumen (kJ/m<sup>3</sup> o kcal/m<sup>3</sup>). (CACME, 2020)

Uno de los combustibles más usados en equipos como calderas a nivel industrial son: Fueloil Combustible líquido que proviene del petróleo crudo. Existen varios grados disponibles, cada uno adecuado para diversos tipos de calderas: (CACME, 2020)

- Clase D: gasoil
- Clase E: fueloil ligero
- Clase F: fueloil medio
- Clase G: fueloil pesado 13

Aproximadamente, se generan unos 14 kg de vapor por cada litro de este combustible. Esta estimación surge a partir de balances energéticos a partir del combustible entregado a la caldera y el vapor generado. (CACME, 2020)

### 2.6.8. Quemador

Elemento que se encarga de realizar el proceso de combustión del combustible suministrado. Funciona generando partículas atomizadas de combustible y mezclándolo con aire mismo que provoca la combustión para generar energía calorífica a partir del mismo. (Loyola, 2014)



**Figura 13-2:** Quemador Diésel BECKETT.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

## 2.7. Código ASME

ASME es una sociedad que ayuda a todos los ingenieros del mundo a dar soluciones a los desafíos que existe en el mundo. Fundada en 1880 como The American Society of Mechanical Engineers. ASME es una asociación profesional sin ningún costo que permite el intercambio de conocimientos y el desarrollo de habilidades en todas las ramas de la ingeniería, al tiempo que promueve el papel vital del ingeniero en la sociedad. Los códigos y estándares de ASME, las publicaciones, las conferencias, la educación continua y los programas de desarrollo profesional proporcionan una base para el avance del conocimiento técnico y un mundo más seguro. El gobierno norteamericano se encarga de subsidiar a esta asociación donde se realiza varias pruebas, ensayos, con todo lo relacionado a la Ingeniería Mecánica (Olivares, 2010).

El Código de Recipientes a Presión y Calderas de ASME especifica todos los requisitos para los componentes que soportan presión con respecto a sus materiales, diseño, fabricación, examen, inspección, prueba, certificación y alivio de presión (Olivares, 2010). ASME ha emitido el documento denominado ASME BOILER AND PRESSUREVESSEL CODE que consta de 9 secciones muy importantes las cuales son:

- |            |   |                                |
|------------|---|--------------------------------|
| Sección I  | - | Calderas de Potencia           |
| Sección II | - | Especificaciones de Materiales |

Sección III	-	Calderas Nucleares
Sección IV	-	Calderas de calentamiento
Sección V al VIII	-	Recipientes a presión
Sección IX	-	Calificación de Soldaduras. (Olivares, 2010)

### **2.7.1. Sección I – Calderas de Potencia**

#### *2.7.1.1. Parte PFT - Requisitos para calderas pirotubulares*

Esta sección del código ASME (Parte PFT) es aplicable a calderas pirotubulares y los componentes de éstas, y deben ser utilizadas en conjunto con la Parte PG así como también con los requisitos específicos en las Partes aplicables de esta Sección que se apliquen al método de fabricación utilizado. (ASME, 2010)

#### *2.7.1.2. Requisitos de espesor*

- Cuerpo y Domo

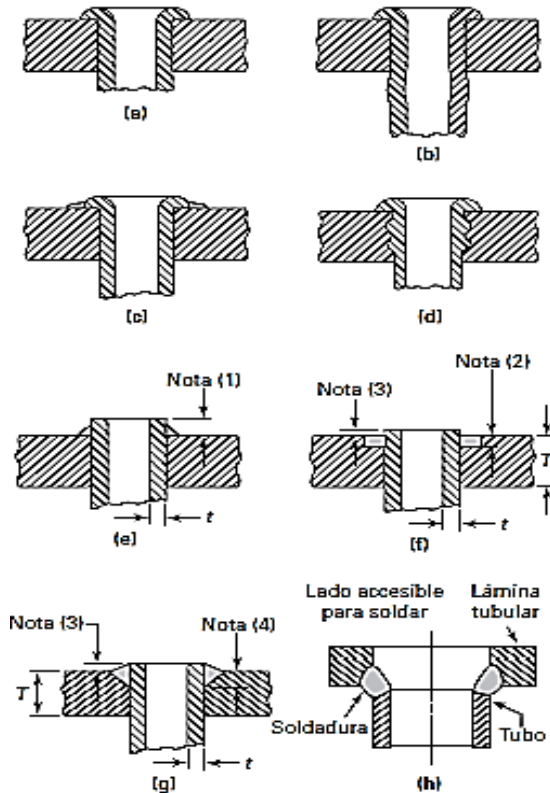
La división PG da el espesor después del conformado, el mismo debe ser tal cual se encuentre en la especificación. (ASME, 2010)

- Tubos - Fijación de tubos

La Figura 14-2 ilustra algunos de los tipos aceptables de fijación de tubos. Esas conexiones deben ser:

- Expansión y moldura como en las ilustraciones (a), (b) y (d)
- Expansión y moldura y soldadura de sello como en la ilustración (c)
- Expansión y soldadura de sello como en la ilustración (e)
- Soldadura, como en las ilustraciones (f) y (g). (ASME, 2010)





**Figura 14-2:** Algunas formas aceptables de fijación de tubos en calderas pirotubulares

Fuente: (ASME, 2010)

### 2.7.1.3. Temperatura

La temperatura para realizar el diseño debe ser mayor a la temperatura promedio máxima de las paredes, la misma que se establece mediante cálculo o por medición directa. Para ello, se puede utilizar la temperatura de 700°F (370°C) como la temperatura de diseño, en lugar de la temperatura media máxima calculada o medida. (ASME, 2010)

### 2.7.1.4. Hogares cilíndricos y tubos.

Para este tipo de requerimientos se define que el espesor mínimo necesario para un hogar cilíndrico o tubo sometido a presión externa, sean estos en ausencia de costura o con presencia de soldadura longitudinal a tope, se debe necesariamente calcular por medio de los procedimientos presentados en la norma ASME. (ASME, 2010)

Para cilindros que poseen valores  $D_o/t$  iguales o superiores a 10:

- Paso 1: Se debe asumir el valor de  $t$  y determinar las relaciones.

$$L/Do \text{ y } Do/t. \quad (1)$$

- Paso 2: Ingresar en la Fig. G de la Sección II, Parte D, el valor de  $L/Do$  que se determinó. Cuando se tiene valores de  $L/Do$  mayores a 50, se debe ingresar un valor de  $L/Do = 50$ . Si el valor de  $L/Do$  es inferior a 0.05, ingresamos en la tabla el valor de  $L/Do = 0.05$ .
- Paso 3: Desplazarse de forma horizontal hacia la línea de  $Do/t$  determinado. Para ello se debe hacer una interpolación con valores medios de  $Do/t$  y con esto desplazarse de forma vertical hacia abajo para determinar el factor  $A$ .
- Paso 4: Una vez determinado el factor  $A$ , ingresamos la tabla de materiales que aplica en la Sección II, Parte D, en base al material que se consideró. Luego desplazarse de forma vertical hasta intersecar con la línea material/temperatura, con esto se obtiene la temperatura de diseño. El proceso de interpolación para temperaturas intermedias se puede realizar entre líneas. Si se da el caso en el que el valor de  $A$  se ubica a la derecha de la línea de temperatura del material entonces, se asume una intersección con la línea proyectada horizontalmente desde la parte superior de la línea de material/temperatura. Cuando existen valores de  $A$  que se ubiquen en la parte extrema izquierda de la línea de material/temperatura, se debe seguir las recomendaciones en el Paso 7.
- Paso 5: Para determinar el factor  $B$  se debe partir de la intersección obtenida en el paso anterior y desplazarse de forma horizontal a la derecha para leer el valor del factor  $B$ .
- Paso 6: Determinado el factor  $B$  es necesario calcular el valor de la presión externa máxima admisible  $P_a$ , por medio de la ecuación:

$$P_a = \frac{4B}{3(Do/t)} \quad (2)$$

- Paso 7: Los valores de  $P_a$ , si el valor de  $A$  esta en la parte izquierda de la línea de material/temperatura, se debe calcular mediante la ecuación:

$$P_a = \frac{2B}{3(Do/t)} \quad (3)$$

- Paso 8: Determinados los valores de  $P_a$ , se realiza la comparación con  $P$ . Donde, si  $P$  es mayor a  $P_a$ , se selecciona un valor mayor para  $t$  y se debe repetir necesariamente el procedimiento usado para el diseño hasta poder obtener un valor de  $P$  menor o igual al de  $P_a$ . (ASME, 2010)

#### 2.7.1.5. *Parte PG - Requisitos generales para todos los métodos de construcción*

De acuerdo con los requerimientos de la Parte PG estos se pueden aplicar en calderas de potencia y de alta presión, también en calderas de agua a temperaturas elevadas para sus partes y accesorios, además se debe utilizar de acuerdo con los requerimientos especificados en las partes aplicables de las sección que sea pertinente con los métodos de construcción utilizados. (ASME, 2010)

Las normas de esta Sección se pueden aplicar para los siguientes servicios:

- En calderas en las que el vapor de agua incluso otro tipo de vapor produce una presión superior a 15 psi (100 kPa), calificada para uso externo. (ASME, 2010)

#### 2.7.1.6. *Placas*

En un punto cualquiera en la caldera donde existan placas de acero sometida a presión donde pueden o no estar en exposición al fuego o derivados de la combustión, estas deben contar con la calidad para ser utilizadas en recipientes a presión y para ello debe contar con las especificaciones bajo norma. (ASME, 2010)

- SA-202 Placas de acero aleado al cromo - manganeso - silicio, para recipientes a presión
- SA-204 Placas de acero aleado al molibdeno, para recipientes a presión
- SA-240 Placas de acero aleado (inoxidable ferrítico) al cromo, para recipientes a presión (tipo 405 únicamente)
- SA-285 Placas de acero al carbono, de baja e intermedia resistencia a la tensión, para recipientes a presión
- SA-299 Placas de acero al carbono, manganeso - silicio, para recipientes a presión
- SA-302 Placas de acero aleado al manganeso - molibdeno y manganeso - molibdeno - níquel, para recipientes a presión. (ASME, 2010)

#### 2.7.1.7. *Tuberías, tubos y partes sometidas a presión*

Todo tipo de tuberías, tubos y partes que se encuentren sometidas a presiones elevadas y que se usen en calderas deben tener cumplimiento total con las especificaciones descritas a continuación: (ASME, 2010)

Las partes de la caldera deben ser únicamente de las siguientes especificaciones:

- SA-53 Tubería soldada y sin costura de acero (no se incluye la galvanizada)
- SA-105 Productos forjados de acero al carbono, para componentes de tubería
- SA-106 Tubería sin costura de acero al carbono, para servicio a alta temperatura
- SA-178 Tubos de acero al carbono, soldados por resistencia eléctrica, para calderas
- SA-181 Bridas para tubería en acero rolado o forjado, accesorios forjados, y válvulas y partes forjadas para servicio general
- SA-182 Bridas para tubería de acero aleado rolado o forjado, accesorios forjados, válvulas y partes forjadas, para servicio a alta temperatura (únicamente ferrítico)
- SA-209 Tubos sin costura, de acero aleado al carbono - molibdeno, para calderas y sobre calentadores
- SA-210 Tubos sin costura de acero medio carbono, para calderas y sobre calentadores. (ASME, 2010)

### **2.7.2. Diseño según código ASME**

Para el diseño de calderas de potencia, calderas de agua a elevadas temperaturas y con partes sometidas a presión, que se encuentran inmersas en el alcance de las reglas planteadas, además debe cumplir con los requerimientos generales de diseño que se presentan en las secciones siguientes, también se debe cumplir con los requerimientos específicos los que están contenidos en las partes aplicables los mismos que deben corresponder a los métodos usados para la construcción. Es necesario conocer que esta sección no incluye las reglas para cumplir con todos los detalles de diseño. Si existe el caso en el que las reglas no logran cumplir con todas las posibilidades de diseño, se puede obtener ayuda del fabricante siempre que esté sujeta a una aceptación previa de un inspector con lo que se puede garantizar que se cumple con los requerimientos de la norma en esta sección. Este proceso se puede garantizar mediante una metodología analítica o con el uso otros códigos de diseño. (ASME, 2010)

Para iniciar con el diseño de las calderas de potencia se toma en cuenta los siguientes datos recomendados:

- 16 pulg. (400 mm) de diámetro interior del cuerpo.
- 20 pies<sup>2</sup> (1.9 m<sup>2</sup>) de superficie de calentamiento (no se aplica en calderas eléctricas).

- 5 pies<sup>3</sup> (0.14 m<sup>3</sup>) de volumen bruto, exclusivamente del aislamiento y la cubierta.
- 100 psig (700 kPa) de presión máxima de trabajo permisible. (ASME, 2010)

#### 2.7.2.1. *Espesores Mínimos*

Si tomar en cuenta las calderas que son de tipo eléctricas que se construyen con las reglas de la sección PEB, se considera un espesor mínimo de 1/4 pulg. (6 mm), para todo tipo de placa sometida a presión. Para las placas donde pueden aplicarse las riostras y no sean parte del cuerpo se considera un espesor mínimo de 5/16 pulg. (8 mm). Además si se utiliza una tubería que supera la NPS 5 (DN 125) en reemplazo de una placa en el cuerpo de componentes cilíndricos que están bajo presión, el espesor a tomar en cuenta como mínimo en la pared es de 1/4 pulg. (6 mm). (ASME, 2010)

#### 2.7.2.2. *Máxima presión de trabajo admisible (MAWP)*

La presión máxima de trabajo permitida es la presión calculada por medio de los valores tomados del esfuerzo admisible, las reglas de diseño y los valores de dimensionamiento que se asignan en esta sección. Siempre que se vaya a utilizar la expresión: presión de trabajo máxima permisible en esta sección del código, se debe tomar en cuenta que se refiere a la presión manométrica o la presión que es superior a la presión atmosférica. (ASME, 2010)

Es necesario tomar en cuenta también que no existe caldera, a excepción de los generadores de vapor con circulación forzada de agua con vapor que se base en las condiciones PG-67, los cuales deben operarse con una presión superior a la presión de trabajo máxima admisible, esto puede cambiar únicamente si las válvulas de alivio están en descarga, si sucede este caso, la presión de trabajo máxima admisible debe ser inferior al 6%. (ASME, 2010)

#### 2.7.2.3. *Componentes cilíndricos sometidos a presión interna*

En esta sección se toma en cuenta que solo si se seleccionan los requerimientos de A-317 del apéndice A, se debe usar las ecuaciones de esta sección con lo cual se determinara el espesor mínimo necesario o la presión de trabajo máxima admisible en la tubería, tambores, tubos, cuerpo y cabezales, esto cumpliendo con las categorías de dimensionamiento mencionadas en PG-27.2.1, PG-27.2.2, y PG-27.2.3 y con esto asegurar que la temperaturas no excedan de las recomendadas para los distintos materiales que se incluyen en las Tablas 1A y 1B de la Sección II, Parte D. (ASME, 2010)

### 2.7.3. Fórmulas para realizar los cálculos

#### 2.7.3.1. Tubería, tambores, cuerpos, y cabezales

$$t = \frac{PD}{2SE + 2yP} + C \quad (4)$$

$$P = \frac{2SE(t - C)}{D - 2y(t - C)} \quad (5)$$

C = Margen mínimo para roscado y estabilidad estructural

D = Diámetro exterior del cilindro

E = Eficiencia

P = Máxima presión de trabajo admisible

S = Valor del esfuerzo máximo admisible a la temperatura de diseño del metal (Tabla 1A y 1B de la parte D en la sección II)

t = Espesor mínimo requerido

y = Coeficiente de temperatura. (ASME, 2010)

#### 2.7.3.2. Tapas y cubiertas planas sin riostras

Las tapas planas si riostras, bridas ciegas y cubiertas planas deben tener todos los requisitos de espesor mínimo mostrados en este párrafo. Estos requisitos se aplican para las tapas y cubiertas circulares y no circulares. Algunos tipos aceptables de tapas y cubiertas planas están representados en la Fig. PG-31 del código ASME (ASME, 2010)

El espesor mínimo requerido de las tapas planas sin riostras, cubiertas, y bridas ciegas circulares debe calcularse según la siguiente ecuación:

$$t = d \sqrt{\frac{CP}{S}} \quad (6)$$

Se toma en cuenta que si la tapa, cubierta, o brida ciega se encuentran unidas por medio de tornillos, produciendo un momento (torque) en el borde no se puede calcular con la ecuación 6.

t: Espesor mínimo necesario mm

d: Diámetro menor mm.

C: Factor adimensional depende de la fijación de la tapa Fig. PG-31 de la norma ASME.

S: Esfuerzo máximo admisible a la temperatura de diseño en psi.

P: Máxima presión de trabajo admisible. (ASME, 2010)

### 2.7.3.3. *Aberturas en cuerpos, cabezales y tapas cóncavas*

Según se determina en las reglas para aberturas y compensación, desde PG-32 hasta PG-39, se pueden aplicar en todas las diferentes aberturas en cabezales, cuerpos, y tapas cóncavas con excepción de las que se indique lo contrario en PG-29.3. (ASME, 2010)

Según las reglas para los ligamentos las aberturas se pueden diseñar en base a PG-52 o PG-53, con la condición de que el diámetro más grande dentro del grupo de la abertura terminada, no supere los valores admitido en las siguientes condiciones: (ASME, 2010)

En el caso del Sistema de Medidas de los Estados Unidos se aplica la ecuación 7

$$d_{max} = 2.75 [Dt(1 - K)]^{1/3} \quad (7)$$

En el caso del Sistema Internacional de Unidades se aplica la ecuación 8

$$d_{max} = 8.08 [Dt(1 - K)]^{1/3} \quad (8)$$

### 2.7.4. *Fabricación según código ASME*

Para fabricar calderas y sus componentes es necesario cumplir con los requerimientos generales de construcción expuestos en las siguientes secciones, también los requisitos específicos de fabricación están estipulados en las partes de la sección que sea adecuada a la metodología usada en la construcción. (ASME, 2010)

#### 2.7.4.1. *Corte de placas y otros productos*

Para realizar los cortes en las placas se lo puede realizar mediante cizallado, troquelado, mecanizado, por corte con procesos con gas o arco eléctrico, esto si se cumple con las

dimensiones suficientes en los bordes para poder ejecutar los requerimientos de PG-79. (ASME, 2010)

#### **2.7.5. Prueba hidrostática**

Los requisitos para la prueba hidrostática en la caldera debe realizarse de acuerdo con lo siguiente: una vez terminada la fabricación de la caldera esta debe ser sometida a pruebas de presión la misma que debe tener una temperatura mayor o igual a la del ambiente y por ninguna razón puede hacerse esta prueba con una temperatura inferior a 70°F (20°C). Si en esta sección se detallan las pruebas de presión necesarias, sean estas mínimas o máximas, se le debe aplicar al punto de mayor altitud del sistema de la caldera. En el caso de que la caldera sea fabricada en su totalidad en la planta del fabricante sin poseer la tubería exterior se debe tomar en cuenta que aquel que posea una estampa “S”, “A”, o “PP”, es responsable de realizar la prueba hidrostática a la tubería exterior de la caldera. Tomando en cuenta que las válvulas de alivio no necesitan ser incluidas en la prueba. (ASME, 2010)

#### **2.7.6. Parte PW – Requisitos para calderas fabricadas por soldadura**

##### *2.7.6.1. Diseño de juntas soldadas*

Para juntas soldadas longitudinalmente, circunferencial y de otro tipo, que unen los materiales usados para cuerpos, tambores y otros elementos que se encuentren sometidos a presiones elevadas, con excepción del que pueda indicar lo contrario en PG-31, PG-39, PW-41, PWT-11 y también en la parte PFT, deben necesariamente ser soldadas a tope con penetración completa. Estas juntas soldadas pueden ser soldaduras doble a tope o inclusive puede ser soldadura simple a tope con el material de aporte suministrado desde un lado sólo si son fabricadas para ser semejante a la junta a tope con soldadura doble y poder proporcionar los medios para obtener una penetración completa. (ASME, 2010)

##### *2.7.6.2. Biseles de soldadura*

El dimensionamiento y la forma de los bordes para realizar la unión mediante soldaduras a tope necesariamente deben permitir una fusión completa y una penetración total de las juntas. (ASME, 2010)



### *2.7.6.3. Requisitos mínimos para las soldaduras de fijación*

Con excepción de lo que se permite en PW-16.5, PW-16.6 y PW-16.7, las boquillas y otras conexiones a los cuerpos, cabezales y tambores deben fijarse mediante juntas soldadas con penetración completa por uno o ambos lados, juntas soldadas con penetración parcial y aplicadas a ambos lados o por medio de juntas soldadas de filete aplicadas a ambos lados. (ASME, 2010)

## **2.7.7. Soldadura**

### *2.7.7.1. Procesos de soldadura según código ASME*

El código ASME establece que los procesos de soldadura detallados a continuación se pueden ocupar para la construcción de cualquiera de los equipos que se especifiquen en la Sección I y estas se enlistan a continuación: soldadura por arco metálico protegido (SMAW), soldadura por arco sumergido (SAW), soldadura por arco metálico con gas (GMAW), soldadura por arco con núcleo fundente (FCAW), soldadura por arco con gas tungsteno (TIG), soldadura por arco de plasma (PAW), soldadura por arco con hidrógeno atómico, soldadura con oxígeno e hidrógeno (AHW), soldadura con oxiacetilénico (OAW), soldadura con rayo láser (LBW), soldadura con rayo de electrones, soldadura por descarga eléctrica, soldadura por inducción, soldadura por presión térmica, soldadura con gas a presión y soldadura por fricción con conducción continua y por inercia (FRW) (ASME, 2010).

### *2.7.7.2. Proceso de soldadura MIG - Soldadura gas, arco y metal*

La soldadura por arco metálico con gas (GMAW) es un proceso de soldadura por arco en el que la fuente de calor es un arco formado entre el electrodo de metal consumible y la pieza de trabajo con un protector gaseoso de gas suministrado externamente, ya sea inerte como argón y/o helio. (Esquivel, 2017)



**Figura 15-2:** Proceso de soldadura MIG

Fuente: (Esquivel, 2017)

### *2.7.7.3. Proceso de soldadura TIG - Soldadura en una atmósfera con gas inerte y electrodo de tungsteno*

Un proceso de soldadura por arco (GTAW) que utiliza un arco entre un electrodo de tungsteno (no consumible) y el baño de soldadura. El proceso se utiliza con gas protector y sin la aplicación de presión. El proceso GTAW también se conoce como soldadura TIG. (Esquivel, 2017)



**Figura 16-2:** Proceso de soldadura TIG

Fuente: (Esquivel, 2017)

### *2.7.7.4. Proceso de soldadura SMAW - Soldadura de arco manual*

Un proceso de soldadura eléctrica con electrodo revestido SMAW (Shielded Metal Arc Welding de acuerdo a sus siglas en inglés), se trata de un proceso manual que utiliza un electrodo consumible recubierto de fundente con una varilla de metal en el núcleo del mismo (Esquivel, 2017)



**Figura 17-2:** Proceso de soldadura SMAW

Fuente: (Esquivel, 2017)

### *2.7.7.5. Proceso de soldadura PAC - Corte por arco de plasma*

La soldadura PAW (arco de plasma) es un proceso de soldadura por arco igual a la soldadura TIG, porque el arco se forma entre un electrodo de tungsteno puntiagudo y la pieza de trabajo. Pero insertando el electrodo en la parte interior del cuerpo del soplete, el arco de plasma se puede dividir de la envoltura del gas protector. Luego, el plasma se fuerza mediante una boquilla de cobre de calibre delgado que contrae el arco. (Esquivel, 2017)











**Figura 18-2:** Proceso de soldadura PAC

Fuente: (Esquivel, 2017)

#### 2.7.7.6. Tipos de soldadura

Una de las clasificaciones de soldadura es según el tipo de junta, las juntas reconocidas por la AWS (Sociedad Americana de la Soldadura) son los de la figura 19-2.


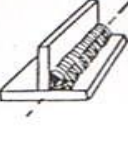
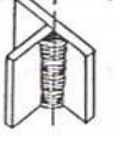

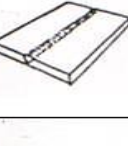
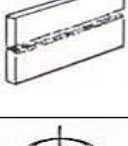
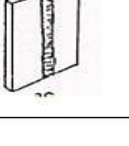
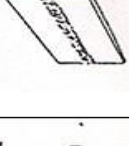
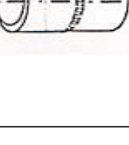
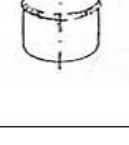
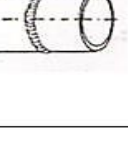
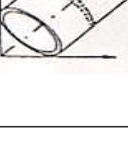
 TOPE SIN BISEL	 TOPE CON BISEL	 TOPE CON DOBLE BISEL	 TOPE CON UNA PLANCHA BISELADA	 TOPE CON UNA PLANCHA DOBLE BISEL
 TOPE BISEL EN U	 TOPE DOBLE BISEL EN U	 TOPE BISEL EN J EN UNA PLANCHA	 TOPE DOBLE BISEL J EN UNA PLANCHA	 FILETE SIMPLE
 FILETE SIMPLE	 DOBLE FILETE	 DOBLE FILETE	 UNION V DE LADOS DOBLADOS	 UNION DE FLANGE
 CORDON	 TAPON	 PUNTO DE ARCO SENCILLO		

**Figura 19-2:** Tipos de soldadura

Fuente: (Lorca, 2009)

#### 2.7.7.7. Posición de soldadura

El material de aporte (electrodos), son creados para soldar en una forma en específico dependiendo del material a soldar. Generalmente, tratan de llevar a la pieza de trabajo a la posición plana de soldeo que es la más cómoda y eficiente. (Lorca, 2009)

PLANO	HORIZONTAL	VERTICAL	SOBRECABEZA
			
			
			

**Figura 20-2:** Posiciones de soldadura

Fuente: (Lorca, 2009)

## 2.8. Ensayos no destructivos para soldadura

Los ensayos no destructivos (END) son una técnica de prueba y análisis utilizada por la industria para evaluar las propiedades de un material, componente, estructura o sistema en busca de diferencias características o defectos de soldadura y discontinuidades sin causar daño a la pieza original (AWS B4.0, 2016).

La aplicación de estas técnicas, hace parte de un mantenimiento preventivo; mismo que garantiza el desempeño de los equipos de manera correcta al pasar los años. Se puede aplicar tanto a materiales metálicos y no metálicos y suelen ser económicos (Feandalucia, 2011).

Los métodos de inspección de examen no destructivo (NDE) permiten verificar el cumplimiento de las normas de manera continua mediante el examen de la superficie y el subsuelo de la soldadura y el material base circundante. Se utilizan comúnmente cinco métodos básicos para examinar las soldaduras acabadas: visual, líquido penetrante, de partículas magnéticas, ultrasónico y radiográfico (rayos X). El uso cada vez mayor de la informatización con algunos métodos proporciona una mejora adicional de la imagen y permite la visualización en tiempo real o casi en tiempo real, inspecciones comparativas y capacidades de archivo. Una revisión de cada método ayudará a decidir qué proceso o combinación de procesos utilizar para un trabajo específico y para realizar el examen de manera más eficaz (AWS B4.0, 2016).

### 2.8.1. *Ensayos con líquidos penetrantes*

Las grietas en la superficie y los poros que no son visibles a simple vista pueden localizarse mediante la inspección de líquidos penetrantes. Se usa ampliamente para localizar fugas en soldaduras. La inspección de líquidos penetrantes a menudo se denomina una extensión del método de inspección visual (AWS B4.0, 2016).

Se utilizan dos tipos de líquidos penetrantes: colorante fluorescente y visible. Con la inspección con penetrante fluorescente, se aplica un líquido altamente fluorescente con buenas cualidades de penetración a la superficie de la pieza a examinar. La acción capilar atrae el líquido hacia las aberturas de la superficie y luego se elimina el exceso. Se usa un "revelador" para atraer el penetrante a la superficie, y la indicación resultante se ve con luz ultravioleta (negra). El alto contraste entre el material fluorescente y el objeto permite detectar rastros diminutos de penetrante que indican defectos superficiales (AWS B4.0, 2016).



**Figura 21-2:** Líquidos penetrantes

**Fuente:** (Feandalucia, 2011)

### 2.8.2. *Pruebas de fuga (ensayo de burbujeo)*

La prueba de fuga, o también conocido como, leak testing es usada para la detección de fugas de cualquier tipo en recipientes a presión tanto en la fabricación y operación. Se debe realizar una prueba de fugas durante un mínimo de 10 minutos o el tiempo que se necesita para inspeccionar visualmente cada soldadura de tubería y conexión mecánica para detectar fugas (SINDES, 2020).

Se ingresa al componente industrial a variaciones de presiones bruscas, junto con una solución de agua mezclada con líquido jabonoso. Esta prueba de fugas por medio del burbujeo es muy importante la detección visual de gas (generalmente aire) que sale de un sistema que se encuentra presurizado. El ensayo de burbujeo puede ser realizado en sistemas de tubería, intercambiadores de calor, recipientes a presión y tanques. (SINDES, 2020)



**Figura 22-2:** Ensayo de Burbujeo.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

## 2.9. Concretos refractarios

Son combinaciones premezcladas de materiales refractarios, integrantes de la matriz, agentes aditivos y ligante. La gran mayoría materiales vienen en empaques, que mezcladas algunas formulaciones, aunque parezcan simple siguen siendo una área muy importante para ser ocupado en aplicaciones críticas y de alta y/o baja temperatura, esto depende de la resistencia mecánica final para ser utilizado. (ERECOS, 1993).

Para la calidad del material a utilizarse sea garantizada, es de gran importancia controlar la calidad y cantidad de agua que se adiciona, así como el tiempo de fraguado, curado y calentamiento inicial del revestimiento de las mismas. (ERECOS, 1993)

Los concretos refractarios ofrecen ventajas frente a los ladrillos, tales como:

- Elevada resistencia mecánica a temperaturas relativamente bajas.
- Son más económicos al no poseer juntas en la mampostería, ya que impiden el paso de gases calientes o aire frío. (ERECOS, 1993)

### 2.9.1. Concretos refractarios densos silico-aluminosos

- CONCRAX 1300: este tipo de concreto refractario (silico-aluminoso denso), es aplicable en proyectos cuya temperatura no se vea excedida en 1320°C. una de sus principales aplicaciones es el revestimiento de calderas y quemadores. (ERECOS, 1993)
- CONCRAX 1500: este concreto refractario (silico-aluminoso denso). La máxima temperatura que soporta este es de 1540°C, en sus aplicaciones podemos encontrar: calderas y hornos de tratamiento térmicos. (ERECOS, 1993)

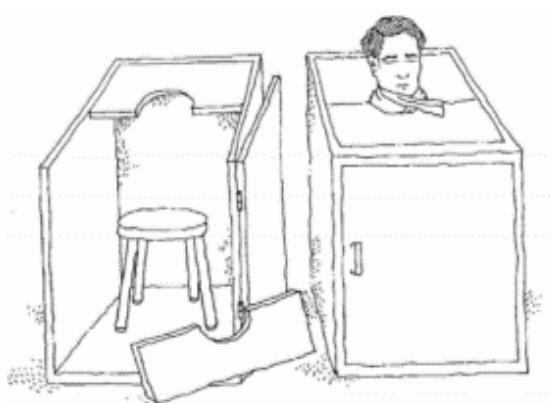


**Figura 23-2:** Concreto Refractario

**Fuente:** (ERECOS, 1993)

## 2.10. Baño de cajón

Los baños de cajón son una terapia de salud alternativa que es muy solicitada por personas que sufren de dolencias musculares y del sistema óseo. Se aplica la llamada termoterapia, que en base a investigaciones se ha demostrado que a partir de las mismas se puede limpiar la sangre de forma natural. Esta terapia consiste en la aplicación de vapor de agua a temperaturas superiores a 50°C, la persona se encuentra en una cajón de madera que únicamente posee un orificio para que la cabeza del paciente quede fuera, cada un periodo de tiempo, cinco minutos por lo general; el paciente sale a tomar un baño de agua fría (Cevallos, 2012).



**Figura 24-2:** Baño de cajón

**Fuente:** (Acharan, 1997)

### 2.10.1. Proceso

El baño de cajón es un elemento que se puede considerar hermético a diferencia del sauna, la humedad se acumula en las paredes y hacen que el vapor se condense en el interior del cajón; donde la temperatura interna alcanza alrededor de 35 y 60°C (Lomas, 2019).

Una vez el paciente se encuentre en el interior del cajón se procede a colocar una toalla en su cuello con el fin de evitar fugas de vapor, la salida de vapor se controla mediante una llave de

paso. Después de 5 o 10 minutos cuando el calor generado por el vapor en el cuerpo de la persona sea intensa, esta debe salir al baño de agua fría. El proceso se repite alrededor de 30 a 60 minutos. (Lavado de sangre según Lezaeta, 2008)

### **2.10.2. Beneficios**

Se conoce que existen múltiples beneficios del baño de cajón, donde se aplica vapor caliente, entre ellos, la eliminación de toxinas a partir de la dilatación de poros de la piel. (Acharan, 1997)

Otra ventaja de la aplicación de esta terapia es que puede beneficiar a la salud cardiovascular, ayuda a combatir enfermedades pulmonares; mortalidad; así como la mejora de afecciones como artritis, dolor de cabeza y gripe. (Inbeca, 2020)

Especialistas recomiendan mantener hábitos saludables como la hidratación, alimentación saludable, ejercicios regular y reducir el estrés. Esto acompañado de terapias en el sauna, el baño de cajón y la hidroterapia mejoran notablemente la salud. (Inbeca, 2020)

### **2.10.3. Componentes del baño de cajón**

#### **2.10.3.1. Cajón mixto (madera + concreto)**

Es común observar la construcción de baños de cajón que están conformados por madera y paredes de hormigón. Al incorporar hormigón se observa que este material no sufre afectación por la humedad al interior. También se recomienda la colocación de cerámicas tanto al interior como en el exterior del cajón. (Arias, 2019)



**Figura 25-2:** Cajón mixto

**Fuente:** (Arias, 2019)



### 2.10.3.2. Cubas de agua fría

Posterior a la aplicación del vapor caliente, la persona debe someterse a un baño de agua fría, para este paso se construyen cubas fuera del cajón donde el paciente se sumerge para completar la terapia. Expertos recomiendan mejorar los hábitos alimenticios y practicar esta terapia con regularidad para mantener un estilo de vida saludable. (La Hora, 2016)



**Figura 26-2:** Cuba de Agua Fría.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### **Tipo de enfoque**

La matriz de consistencia de nuestro diseño de investigación hace referencia a que realizaremos una investigación con un enfoque de tipo Cuantitativo ya que uno de los objetivos se basa en los parámetros de funcionamiento o variables que deben ser medidas para poder desarrollar el diseño del generador de vapor. Para el diseño del sistema de baños de cajón que se usará en un domicilio, será necesario aplicar los parámetros de funcionamiento de nuestro generador de vapor que fueron determinados, así como la toma de datos del área donde se va a colocar el sistema para realizar una buena distribución del mismo.

Además para realizar las pruebas de funcionamiento del generador de vapor se debe controlar parámetros como la presión de trabajo, así también una vez instalado el sistema de baños de cajón se deberá controlar la temperatura y humedad en los cajones, todos los datos serán medidos y controlados para poder obtener un correcto funcionamiento del sistema de baños de cajón.

“Se lo conoce al enfoque cuantitativo como un método de acumulación de datos para determinar una hipótesis en base a un análisis estadístico y numérico, con el propósito de fijar reglas de comportamiento y probar teorías.” (Hernandez et al., 2014)

#### **Diseño de la investigación**

Debido a que el objetivo de estudio de nuestra investigación será diseñar y construir un sistema de baños de cajón para uso domiciliario nos acogeremos a un diseño no experimental, debido a que nuestra investigación no interviene o modifica las variables que lo componen, ya que para nosotros poder diseñar y construir el generador de vapor nos basaremos en el código ASME y datos ya existentes para obtener los parámetros de funcionamiento los cuales deberemos acoplarlos según nuestra necesidad es decir realizar un pre diseño para luego proceder con el diseño real, en este caso no estamos experimentando con teorías, cálculos o instrumentos nuevos.

Antes de instalar el sistema de baños de cajón se realizará las pruebas de funcionamiento del generador de vapor para el cual se regulará la presión y se verificará que las válvulas e

instrumentos funcionen correctamente, tanto el generador de vapor y los baños de cajón serán instalados según el Código ASME y siguiendo recomendaciones de otras investigaciones, luego de haber sido instalado el sistema de baños de cajón se procederá a realizar pruebas de funcionamiento del sistema completo, cabe recalcar que para controlar la cantidad y temperatura de vapor será manipulada la válvula de paso que se encuentra en los cajones por el usuario según la satisfacción o necesidad del mismo. Estas pruebas de funcionamiento se realizarán en un contexto natural sin alterar variables ni experimentar con acciones que no estén dentro de lo establecido.

“El diseño no experimental se basa en estudios en los cuales no se aplica la manipulación deliberada de ciertos valores o variables, es decir solo se miran cada una de las variables o fenómenos en un ambiente natural para así poder analizarlos.” (Hernandez et al., 2014)

### **Alcance de la investigación**

El tema de nuestra investigación tiene un alcance correlacional en el cual según el diseño de nuestra investigación relacionaremos la variable dependiente e independiente de nuestra investigación.

Se realizará el diseño y construcción de un sistema de baños de cajón con su respectivo generador de vapor en base a parámetros de funcionamiento como presión de trabajo, consumo de combustible y régimen de trabajo del generador de vapor, además la presión, temperatura y humedad relativa de los baños de cajón, así como la implementación e instalación del sistema de baño de cajón dentro de un área adecuada en un domicilio. Estos parámetros estarán relacionados en función del tiempo con lo que se elaborarán gráficas para conocer su comportamiento.

“El alcance correlacional de una investigación tiene como propósito identificar la relación o grado de relación que hay entre dos o más categorías, significados o variables en un contexto o una muestra. Muchas de las veces se consideran la relación que existe solo entre dos variables, pero a menudo se analiza la relación entre tres, cuatro o muchas variables.” (Hernandez et al., 2014)

### **Población**

La población de estudio de nuestra investigación estará constituida por los parámetros de funcionamiento del generador de vapor y de los baños de cajón.

“La población no es más que un grupo de objetos o individuos de los cuales se puede obtener información en una investigación”. (Pineda et al., 1994)

### **Muestra y Muestreo**

“Se conoce como muestra al subconjunto que forma parte de la población de la cual se realizará la investigación con la finalidad de obtener información al todo.” (Pineda et al., 1994)

Presión de trabajo, consumo de combustible y régimen de trabajo del generador de vapor, así como la presión, temperatura y humedad de los baños de cajón.

Para la selección de la muestra se utilizará el muestreo probabilístico estratificado que según (Delsol, 2010) “las partes de una población se pueden clasificar según alguna propiedad de las mismas y en cada una se selecciona la muestra aleatoriamente” ya que para realizar las pruebas de funcionamiento y determinar los diferentes parámetros se podrá seleccionar una muestra del grupo de muestras.

### **Métodos de recolección de información**

La recolección de información para nuestra investigación se realizará mediante revisión documental ya que según Hurtado “es un método que consiste en adquirir información escrita, ya sea bajo la estructura de valores que ya existen debido a investigaciones hechas o como textos que contienen la información del tema de estudio” (Hurtado, 2000)

Para poder recolectar información se realizarán pruebas de funcionamiento tanto del generador de vapor como de los baños de cajón y mediante el método de la observación sistematizada se recolectará los datos de las muestras que conforman el sistema de baños de cajón mediante una ficha.

“La observación sistematizada es un método que consiste en obtener información para la investigación; es la acción de observar una variable o proceso con el objetivo de examinarlo pero no de modificarlo. El objetivo de este proceso es observar cambios para luego registrarlos, cada vez que exista una conducta diferente. Los observadores deben estar preparados para que todos obtengan los mismos resultados.” (Ahuila, 2010)

Los métodos mencionados anteriormente nos permitirán validar cada uno de los objetivos propuestos en nuestra investigación y para poder aplicarlos se utilizará instrumentos como manómetro, termo higrómetro, termocupla Tipo K, cronómetro los mismos que nos ayudarán a tomar medidas en cada una de las muestras.

## **Fases o Procesos**

Para desarrollar la investigación se seguirá el siguiente proceso el cual nos ayudará a recolectar los parámetros de funcionamiento del sistema de baños de cajón.

- Revisión bibliográfica

En este proceso se buscará información sobre los parámetros de funcionamiento que se requieren para el generador de vapor y los baños de cajón.

- Pruebas de funcionamiento

Antes de tomar los datos se realizará varias pruebas de funcionamiento las cuales nos ayudarán a detectar posibles fallos en el sistema, esto se debe realizar para que el sistema esté a punto.

- Presión Vs. Tiempo

Se realiza la toma de datos en función de cuánto tiempo se demora en llegar el generador de vapor desde cero a la presión de trabajo (40 psi), y desde que se prende nuevamente (30 psi) hasta que se apaga (40 psi) esto se realizará durante 3 días.

- Combustible Vs Tiempo

A la par con la recolección de datos de presión se tomará los datos del consumo de combustible, realizando la misma metodología mencionada anteriormente.

- Régimen de trabajo

Para obtener estos datos se tomará un tiempo como base 8 horas diarias durante 3 días, de las cuales se determinará el tiempo que permanece prendido el caldero y de igual manera el tiempo que permanece apagado, esto según norma debe cumplir un 70% prendido y un 30% apagado del total de horas, así podremos corroborar que el generador de vapor está bien diseñado.

- Presión en los baños de cajón

Esta presión se tomará al ingreso del vapor hacia los cajones mediante un manómetro, la misma que dependerá de la abertura y cierre de la válvula que será controlada por el usuario.

- Temperatura y humedad del baño de cajón

Para la toma de muestras de temperatura y humedad de los baños de cajón se utilizará la termocupla tipo k y el termo higrómetro respectivamente, las dos muestras serán tomadas a la par, durante el tiempo que dure cada sesión del baño de cajón, con etapas de 5 min durante 30 a 60 min.

Todos estos datos serán recolectados en una ficha y posteriormente serán graficados para verificar su comportamiento.

### 3.1. Diseño del generador de vapor

A continuación se desarrolla el diseño del generador de vapor a partir de un diseño térmico y un diseño mecánico el cual se basa del código ASME 2010 para Calderas y Recipientes a Presión. Sección I Reglas para la Construcción de Calderas de Potencia.

#### 3.1.1. Diseño térmico

Para el desarrollo del diseño térmico partimos de ciertos parámetros como la temperatura ambiente del lugar donde se instalará el sistema de baños de cajón, la temperatura máxima que deberá llegar el vapor dentro de los cajones, el volumen del cajón y la presión manométrica del generador de vapor.

##### 3.1.1.1. Cálculo de la cantidad de vapor necesario

- Condiciones requeridas

Para empezar con el desarrollo del diseño térmico se requiere de dos datos importantes como es la temperatura máxima de trabajo y la temperatura ambiente

*Temperatura máxima 60 °C*

*Temperatura ambiente 20 °C*

- Cálculo de la densidad promedio

$$\delta = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2} \quad (9)$$

Donde:

$\delta =$  Densidad del aire promedio, en  $\frac{kg}{m^3}$

$\delta_1 =$  Densidad a temperatura inicial del aire.

$\delta_2 = \text{Densidad a temperatura final del aire en } \frac{kg}{m^3}$

Para obtener la densidad del aire se utilizó las tablas de propiedades del aire a la presión de 1 atm en el libro de transferencia de calor de Cengel, en las cuales ingresamos con la temperatura inicial y final respectivamente ANEXO C.

$$T_1 = 20^\circ C \quad \delta_1 = 1.204 \frac{kg}{m^3}$$

$$T_2 = 60^\circ C \quad \delta_2 = 1.060 \frac{kg}{m^3}$$

$$\delta = \frac{1.204 + 1.060}{2}$$

$$\delta_{aire} = 1.132 \frac{kg}{m^3}$$

- Cálculo del calor específico

$$C_{aire} = \frac{C_{paire1} + C_{paire2}}{2} \quad (10)$$

Para seleccionar el calor específico del aire ingresamos con la temperatura inicial y final del aire respectivamente ANEXO C.

$$\text{Con } T_1 = 20^\circ C = 293.15^\circ K \quad C_{paire1} = 1.004726 \frac{kJ}{kg^\circ K}$$

$$\text{Con } T_2 = 60^\circ C = 333.15^\circ K \quad C_{paire2} = 1.006989 \frac{kJ}{kg^\circ K}$$

$$Cp_{aire} = \frac{1.004726 + 1.006989}{2}$$

$$Cp_{aire} = 1.00585 \frac{kJ}{kg^\circ K}$$

- Cálculo de la variación de temperatura

Con la temperatura máxima y ambiente calculamos la variación de temperatura como se muestra a continuación:

$$\Delta T = (T_2 - T_1) \quad (11)$$

$$T_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 293.15 \text{ }^\circ\text{K}$$

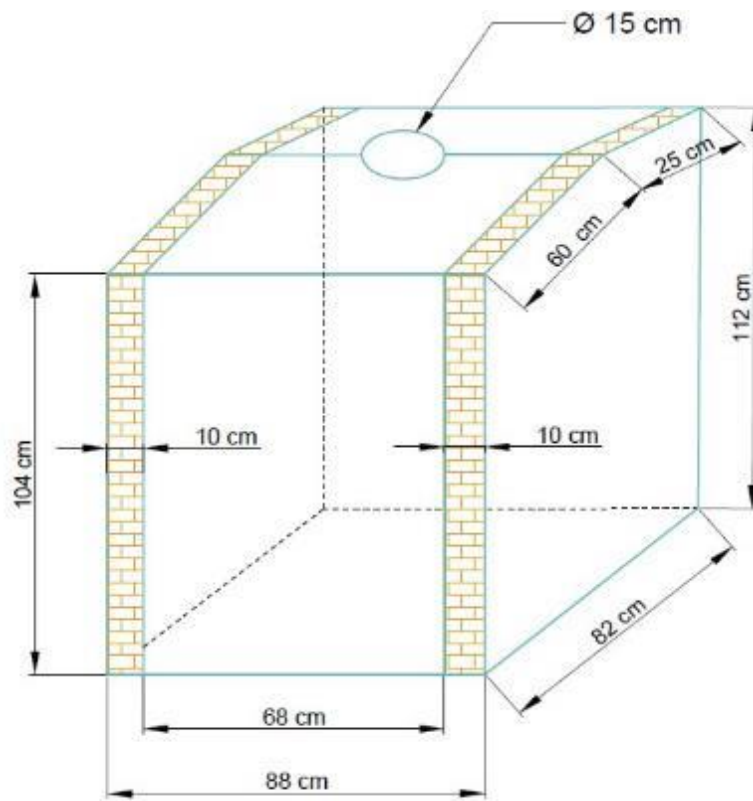
$$T_2 = 60 \text{ }^\circ\text{C} = 333.15 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$\Delta T = (60 - 20)$$

$$\Delta T = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

- Cálculo del volumen del cajón

Con la ayuda del AutoCad se procede a dibujar el cajón mixto (concreto+madera) con sus respectivas medidas para encontrar el volumen del cajón.



**Figura 1-3:** Diseño del cajón mixto (concreto + madera).

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

Área del triángulo formado por la inclinación de la tapa

$$\frac{bxh}{2} = \frac{57 \times 8}{2} = 228 \text{ cm}^2$$

Volumen del triángulo formado por la inclinación de la tapa



$$228 \times 68 = 15504 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volumen interior total} = (68 \times 79 \times 109) - (228 \times 68) = 570044 \text{ cm}^3 = 0.570044 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de la persona} = 0.06640 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen total del cajón} = V_i - V_p$$

$$\text{Volumen total del cajón} = 0.570044 - 0.06640$$

$$\text{Volumen total del cajón} = 0.5036 \text{ m}^3$$

- Cálculo del volumen de aire

$$\text{Volumen interior} = \text{Volumen aire} = (68 \times 79 \times 109) - (228 \times 68) = 570044 \text{ cm}^3 = 0.570044 \text{ m}^3$$

- Cálculo del calor sensible

Para el cálculo del calor sensible reemplazamos los valores obtenidos anteriormente en la siguiente fórmula:

$$q_s = \frac{V * \delta * C_{p\text{aire}} * \Delta T}{t} \quad (12)$$

Donde:

$V = \text{Volumen de aire que se va a calentar en el cajón, en m}^3$

$\delta = \text{Densidad del aire, en } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$C_{p\text{aire}} = \text{Calor específico del aire, en } \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{K}}$

$\Delta T = \text{Variación de temperatura, en } ^\circ\text{K}$

$t = \text{Tiempo de calentamiento del cajón, en h}$

$$q_s = \frac{0.570044 \text{ m}^3 * 1.132 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1.00585 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{K}} * 313.15 ^\circ\text{K}}{0.026 \text{ h}}$$

$$q_s = 7817.48 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$q_s = 7409.54 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

- Cálculo del calor latente

$$q_L = \dot{m}\Delta h \quad (13)$$

Donde:

$$q_L = \text{Calor latente, en } \frac{kJ}{h}$$

$$\dot{m} = \text{Flujo de la masa de vapor, en } \frac{kg}{h}$$

$$h_{fg} = \text{Entalpía de evaporación en } \frac{kJ}{h}$$

$$h_{fg} = h_g - h_f \quad (14)$$

Para encontrar la entalpía de líquido sub- enfriado y de vapor saturado ingresamos a las tablas de agua saturada con el valor de la presión absoluta, en el libro de termodinámica de Cengel ANEXO C.

$$h_f = \text{Entalpía de líquido sub enfriado}$$

$$h_g = \text{Entalpía de vapor saturado}$$

La presión manométrica se tomó como referencia de 40 psi

$$P_{man} = 40 \text{ psi}$$

$$P_{abs} = P_{man} + P_{atm} \quad (15)$$

Donde:

$$P_{abs} = \text{Presión absoluta, en psi}$$

$$P_m = \text{Presión manométrica, en psi}$$

$$P_{atm} = \text{Presión atmosférica, en psi}$$

$$P_{atm} = 14.9 \text{ Psi, (Para la ciudad de Riobamba)}$$

$$P_{abs} = (40 + 14.9)$$

$$P_{abs} = 54.9 \text{ psi}$$

$$P_{abs} = 378.52 \text{ kPa}$$

$$h_f = 596.13 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_g = 2735.52 \frac{kJ}{kg}$$

$$\Delta h = (2735.52 - 596.13) \frac{kJ}{kg}$$

$$\Delta h = 2139.39 \frac{kJ}{kg}$$

- Carga térmica de la persona

Según la Dra. María Elena Ornelas en la Revista Nacional de Pediatría Año 1/ Núm. II/ 2010, nos dice que la persona mediante el sudor elimina el 22% de calor del cuerpo, en si la persona puede eliminar de su cuerpo 1,5 lt por hora de sudor y para que se evapore 1 g de sudor que se encuentra en la piel se requiere 0,58 kcal las mismas que se consiguen del tejido cutáneo. Se debe tomar en cuenta que la persona permanecerá en el baño de cajón aproximadamente 5 minutos en la primera etapa de la rutina, tiempo en el cual generará sudor del cuerpo.

$$1.5 \frac{lt}{h} * \frac{1 g}{0.001 lt} * \frac{1 h}{60 min} = 25 \frac{g}{min}$$

$$q_p = \left(25 \frac{g}{min}\right) \left(0.58 \frac{kcal}{g}\right) (5 min)$$

$$q_p = 72.5 kcal$$

$q_p =$  Calor requerido para que la persona sude en el interior del cajón

$$q_{usuario} = q_p * \text{Número de usuarios} \quad (16)$$

$$q_{usuario} = 72.5 kcal * 1 persona$$

$$q_{usuario} = 72.5 kcal \left( \frac{1 kWh}{879 kcal} \right)$$

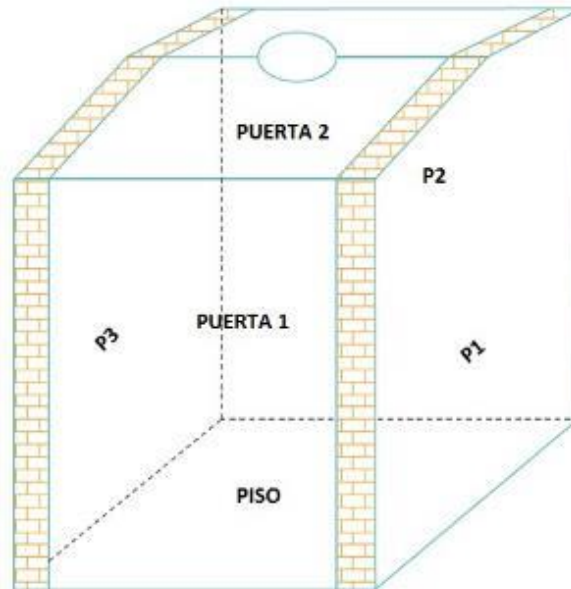
$$q_{usuario} = 0.0844 kWh$$

$$q_{usuario} = \frac{0.0844 kWh}{0.0833 h}$$

$$q_{usuario} = 1.013 kW$$

### 3.1.1.2. Pérdidas de calor por conducción

En este apartado se procede a calcular las pérdidas de calor que se generarán en las paredes, puertas y piso del cajón.



**Figura 2-3.** Partes del cajón.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

P1 = Sección de la Pared 1 del cajón

P2 = Sección de la Pared 2 del cajón

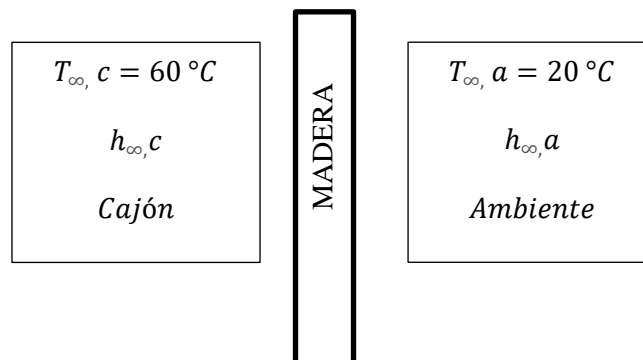
P3 = Sección de la Pared 3 del cajón = P1

PUERTA 1 = Sección de la puerta de acceso 1 al cajón

PUERTA 2 = Sección de la puerta de acceso 2 al cajón

PISO = Piso del cajón el cual se lo tomará como el piso del lugar en donde se va a colocar el cajón.

- Pérdidas en la Puerta 1

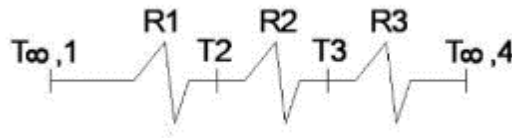


**Figura 3-3:** Puerta 1 de madera.

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

- Circuito térmico de la puerta 1

En base a la Figura 3-3 se elabora el circuito térmico que representa las resistencias y temperaturas en la puerta 1 de madera.



**Figura 4-3:** Circuito térmico puerta 1 de madera.

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

$$q_x = \frac{T_{\infty c} - T_{\infty a}}{(\sum R_t) \left( \frac{1}{A_{puerta1}} \right)} \quad (16)$$

$$q_{puerta1} = \frac{1}{\left[ \left( \frac{1}{h_{\infty c}} \right) + \left( \frac{eM}{KM} \right) + \left( \frac{1}{h_{\infty a}} \right) \right] \left( \frac{1}{A_{puerta1}} \right)} \quad (17)$$

- Cálculo del área de la puerta 1

$$A_{puerta1} = b \times h \quad (18)$$

$$A_{puerta1} = 68 \text{ cm} \times 101 \text{ cm} = 6868 \text{ cm}^2$$

$$A_{puerta1} = 0.6868 \text{ m}^2$$

- Temperatura Ambiente

$$T_{\infty, a} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Temperatura dentro del Cajón

$$T_{\infty, c} = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Espesor de la madera

$$eM = \text{Espesor madera} = 0.03 \text{ m}$$

- Conductividad térmica de la madera

$$k = \text{Conductividad térmica de la madera} = 0.159 \frac{W}{m \cdot K}$$

- Cálculo del ambiente convectivo  $h_{\infty, c}$

$$h_{\infty, c} = \frac{N_u * k_f}{L_c} \quad (19)$$

Donde:

$$h_{\infty, c} = \text{Coeficiente convectivo en el interior del cajón, en } \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$N_u = \text{Número de Nusselt}$

$$k_f = \text{Conductividad térmica del vapor, en } \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$L_c = \text{Longitud característica, en m}$

Consideraciones:

1. Se trata de una convección forzada en una placa plana y flujo laminar en toda su longitud
2. Con la temperatura fílmica se determinará las propiedades

$$T_f = \frac{T_w + T_b}{2} \quad (120)$$

$$T_f = \frac{60 + 55}{2}$$

$$T_f = 57.5 \text{ } ^\circ C$$

$$T_f = 330.65 \text{ } ^\circ K$$

$$Re_L = \frac{\delta * V_v * L_c}{\mu} \quad (21)$$

Donde:

$Re_L = \text{Número de Reynolds}$

$$\delta = \text{Densidad del vapor, en } \frac{kg}{m^3}$$

$$V_0 = \text{Velocidad del vapor, en } \frac{m}{s}$$

$$\mu = \text{Viscosidad dinámica, en } \frac{N \cdot s}{m^2}$$

$$L_c = \text{Longitud característica, en } m$$

Con la temperatura fílmica 57.5 °C encontramos las propiedades del vapor saturado ANEXO E.

$$\delta = 0.11745 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu = 1.085 \times 10^{-5} \frac{N \cdot s}{m^2}$$

$$V_0 = 50\sqrt{D}$$

$$V_0 = \text{Velocidad del vapor, en } \frac{m}{s}$$

$$D = \text{Diámetro interno del tubo, en } m = 0.0254 m$$

$$V_0 = 50\sqrt{0.0254m}$$

$$V_0 = 7.968 \frac{m}{s}$$

$$Re = \frac{\left(0.11745 \frac{kg}{m^3}\right) * \left(7.968 \frac{m}{s}\right) (1.01 m)}{1.085 \times 10^{-5}}$$

$$Re = 87115.2$$

$$Nu = \frac{h_{\infty,t} * L_c}{k_f} = 0.662 * (Re_L)^{0.5} * Pr^{\frac{1}{3}} \quad (22)$$

Donde:

$$Nu = \text{Número de Nusselt}$$

$$h_{\infty,c} = \text{Coeficiente convectivo, en } \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$L_c = \text{Longitud característica, en } m$$

$Re_L = \text{Número de Reynolds}$

$Pr = \text{Número de Prandtl}$

$L_c = 1.01 \text{ m}$

$Pr_{@57.5^\circ\text{C}} = 1 \text{ ANEXO E}$

$K_f = 0.021 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}} \text{ ANEXO E}$

$$Nu = 0.662 * (Re_L)^{0.5} * Pr^{\frac{1}{3}} \quad (23)$$

$$Nu = 0.662 * (87115.2)^{0.5} * (1)^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 195.39$$

$$h_{\infty,c} = \frac{Nu * k_f}{L_c} \quad (24)$$

$$h_{\infty,c} = \frac{195.39 * 0.021 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}}}{1.01 \text{ m}}$$

$$h_{\infty,c} = 4.06 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}}$$

- Coeficiente convectivo en el ambiente exterior

$$h_{\infty,a} = \frac{Nu * k_{fa}}{L_c} \quad (25)$$

Donde:

$Nu = \text{Número de Nusselt}$

$h_{\infty,c} = \text{Coeficiente convectivo ambiente exterior del cajón, en } \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$

$k_{fa} = \text{Conductividad térmica del aire, en } \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}$

$L_c = \text{Longitud característica, en m}$

Consideraciones:

1. La altura de la placa se considera que es igual a la longitud característica, para una placa vertical la convección es natural al exterior del cajón.
2. Con la temperatura fílmica se determinará las propiedades



$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} \quad (26)$$

$$T_f = \frac{25 + 20}{2}$$

$$T_f = 22.5^\circ\text{C}$$

$$Gr = \frac{gLc^3\beta(T_w - T_b)}{\nu^2} \quad (27)$$

Donde:

$Gr = \text{Grashof}$

$L_c = \text{Longitud característica, en m}$

$\beta = \text{Coeficiente térmico de dilatación cúbica del fluido}$

$$\beta = \frac{1}{T_f} \quad (28)$$

$\nu = \text{Viscosidad cinemática, en } \frac{m^2}{s}$

Seleccionamos las propiedades con la temperatura fílmica  $T_f = 22.5^\circ\text{C}$  en la tabla de propiedades del aire a la presión de 1 atm ANEXO C

$$\rho = 1.194 \frac{kg}{m^3}$$

$$\nu = 1.539 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

$$u = 1.837 \times 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$K_{fa} = 0.025325 \frac{W}{m^\circ C}$$

$$g = 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$Pr = 0.73025$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{22.5 \text{ °C}} = 0.0444 \text{ °C}^{-1}$$

$$Gr = \frac{9.8 \frac{m}{s^2} * (1.01 m)^3 * (0.0444 \text{ °C}^{-1})(25 - 20)}{\left(1.539 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}\right)^2}$$

$$Gr = 9.473 \times 10^9$$

$$Ra = GrPr \tag{29}$$

Donde:

*Ra* = Número de Rayleigh

*Gr* = Número de Grashof

*Pr* = Número de Prandtl

$$Ra = (9.473 \times 10^9)(0.73025)$$

$$Ra = 6.917 \times 10^9$$

$$Nu = \left[ 0.825 + \frac{0.387 Ra^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2 \tag{30}$$

Donde:

*Nu* = Número de Nusselt

*Ra* = Número de Rayleigh

*Pr* = Número de Prandtl

$$Nu = \left[ 0.825 + \frac{0.387 (6.917 \times 10^9)^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.492}{0.73025} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$

$$Nu = 225.405$$

$$h_{\infty,a} = \frac{225.405 * 0.025325 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}}{1.01 m}$$

$$h_{\infty,a} = 5.652 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

- Flujo de calor por conducción en la puerta 1

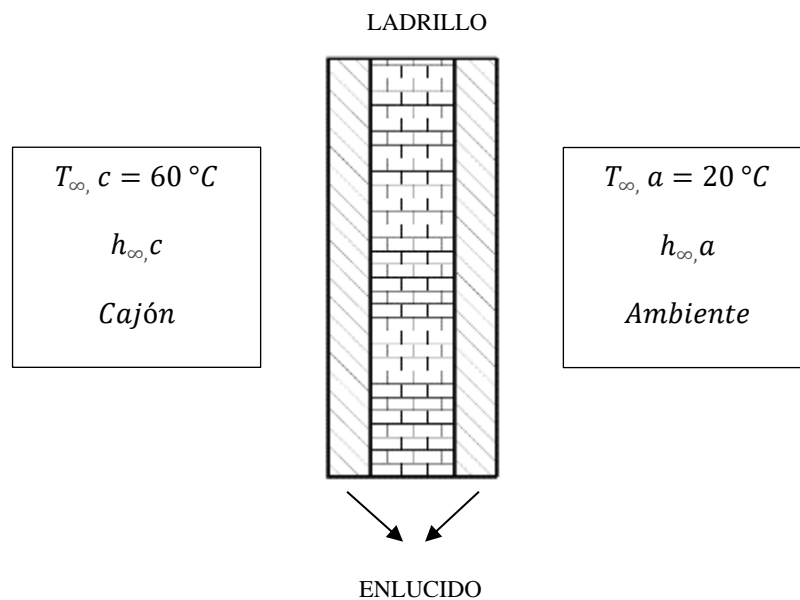
$$q_{puerta1} = \frac{1}{\left[ \left( \frac{1}{h_{\infty,c}} \right) + \left( \frac{eM}{KM} \right) + \left( \frac{1}{h_{\infty,a}} \right) \right] \left( \frac{1}{A_{puerta1}} \right)}$$

$$q_{puerta1} = \frac{(60 - 20)^\circ C}{\left[ \left( \frac{1}{4.06} \right) + \left( \frac{0.03}{0.159} \right) + \left( \frac{1}{5.652} \right) \right] \left( \frac{1}{0.6868 m^2} \right) \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}}$$

$$q_{puerta1} = \frac{40 \text{ }^\circ C}{0.8909 \frac{^\circ C}{W}}$$

$$q_{puerta1} = 44.89 W$$

- Pérdidas en la Pared 1



**Figura 5-3:** Pared 1 de ladrillo y enlucido.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Circuito térmico de la pared 1

En base a la Figura 5-3 se elabora el circuito térmico que representa las resistencias y temperaturas en la pared 1 de ladrillo y enlucido.



**Figura 6-3:** Circuito térmico de la pared 1.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Cálculo del área de la pared 1

$$A_{pared1} = (112 \text{ cm} \times 85 \text{ cm}) - (240) = 9280 \text{ cm}^2$$

$$A_{pared1} = 0.928 \text{ m}^2$$

$$T_f = 57.5 \text{ }^\circ\text{C} = 330.65 \text{ }^\circ\text{K}$$

Con la temperatura fílmica 57.5 °C encontraremos las propiedades del vapor saturado ANEXO E.

$$\delta = 0.11745 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu = 1.085 \times 10^{-5} \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$$

$$V_0 = 7.968 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$L_c = 1.12 \text{ m}$$

$$Re = \frac{\left(0.11745 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) * \left(7.968 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) (1.12 \text{ m})}{1.085 \times 10^{-5}}$$

$$Re = 96603$$

$$Pr = 1$$

$$Nu = 0.662 * (Re_L)^{0.5} * Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 0.662 * (96603)^{0.5} * (1)^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 205.75$$

$$k_f = 0.021 \frac{W}{m^{\circ}K}$$

$$h_{\infty,c} = \frac{Nu * k_f}{L_c}$$

$$h_{\infty,c} = \frac{205.75 * 0.021 \frac{W}{m^{\circ}K}}{1.12 m}$$

$$h_{\infty,c} = 3.85 \frac{W}{m^{\circ}K}$$

- Coeficiente convectivo en el exterior del cajón

$$Gr = \frac{gLc^3\beta(T_w - T_b)}{v^2}$$

$$Gr = \frac{9.81 \frac{m}{s^2} * (1.12 m)^3 * (0.0444 \text{ }^{\circ}C^{-1})(25 - 20)}{\left(1.539 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}\right)^2}$$

$$Gr = 12.918 \times 10^9$$

$$Ra = GrPr$$

$$Ra = (12.918 \times 10^9)(0.73025)$$

$$Ra = 9.433 \times 10^9$$

$$Nu = \left[ 0.825 + \frac{0.387 Ra^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$

$$N_u = \left[ 0825 + \frac{0.387 (9.433 \times 10^9)^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.492}{0.73025} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$

$$N_u = 248.65$$

$$h_{\infty,a} = \frac{248.65 * 0.025325 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}}{1.12 m}$$

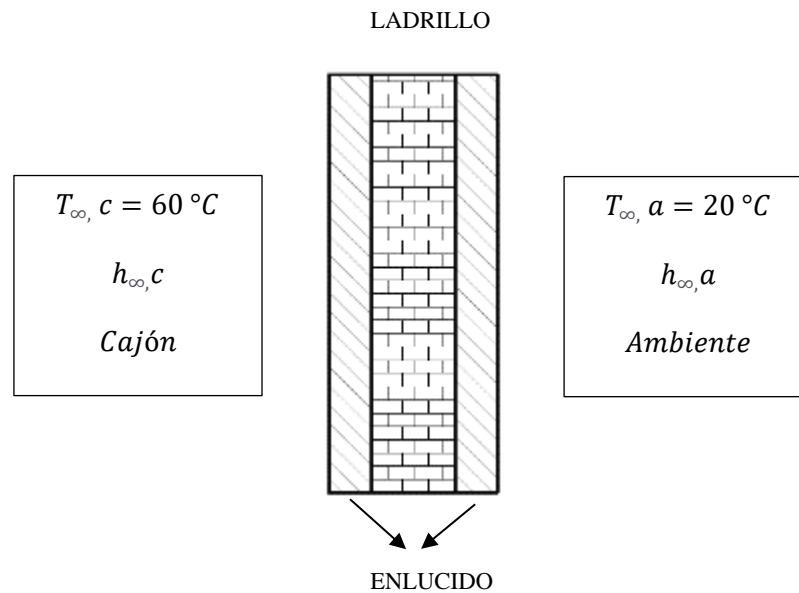
$$h_{\infty,a} = 5.622 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$q_{pared1} = \frac{(60 - 20)^\circ C}{\left[ \left( \frac{1}{3.85} \right) + \left( \frac{0.03}{0.50} \right) + \left( \frac{0.10}{0.72} \right) + \left( \frac{0.03}{0.50} \right) + \left( \frac{1}{5.622} \right) \right] \left( \frac{1}{0.928 m^2} \right) \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}}$$

$$q_{pared1} = 53.3 W$$

$$q_{pared3} = 53.3 W$$

- Pérdidas en la Pared 2



**Figura 7-3:** Pared 2 de ladrillo y enlucido

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

- Circuito térmico de la pared 2

En base a la Figura 7-3 se elabora el circuito térmico que representa las resistencias y temperaturas en la pared 2 de ladrillo y enlucido.



**Figura 8-3:** Circuito térmico de la pared 2.

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

- Cálculo del área de la pared 2

$$A_{pared2} = (112 \text{ cm} \times 74 \text{ cm}) = 8288 \text{ cm}^2$$

$$A_{pared2} = 0.8288 \text{ m}^2$$

$$T_f = 57.5 \text{ }^\circ\text{C} = 330.65 \text{ }^\circ\text{K}$$

Con la temperatura fílmica 57.5 °C encontraremos las propiedades del vapor saturado ANEXO E

$$\delta = 0.11745 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu = 1.085 \times 10^{-5} \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$$

$$V_0 = 7.968 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$L_c = 1.12 \text{ m}$$

$$Re = \frac{\left(0.11745 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) * \left(7.968 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) (1.12 \text{ m})}{1.085 \times 10^{-5}}$$

$$Re = 96603$$

$$Pr = 1$$

$$Nu = 0.662 * (Re_L)^{0.5} * Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 0.662 * (96603)^{0.5} * (1)^{\frac{1}{3}}$$

$$N_u = 205.75$$

$$k_f = 0.021 \frac{W}{m^{\circ}K}$$

$$h_{\infty,c} = \frac{N_u * k_f}{L_c}$$

$$h_{\infty,c} = \frac{205.75 * 0.021 \frac{W}{m^{\circ}K}}{1.12 m}$$

$$h_{\infty,c} = 3.85 \frac{W}{m^{\circ}K}$$

- Coeficiente convectivo en el exterior del cajón

$$G_r = \frac{gLc^3\beta(T_w - T_b)}{v^2}$$

$$G_r = \frac{9.81 \frac{m}{s^2} * (1.12 m)^3 * (0.0444 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1})(25 - 20)}{\left(1.539 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}\right)^2}$$

$$G_r = 12.918 \times 10^9$$

$$Ra = GrPr$$

$$Ra = (12.918 \times 10^9)(0.73025)$$

$$Ra = 9.433 \times 10^9$$

$$N_u = \left[ 0.825 + \frac{0.387 Ra^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$



$$N_u = \left[ 0825 + \frac{0.387 (9.433 \times 10^9)^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.492}{0.73025} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$

$$N_u = 248.65$$

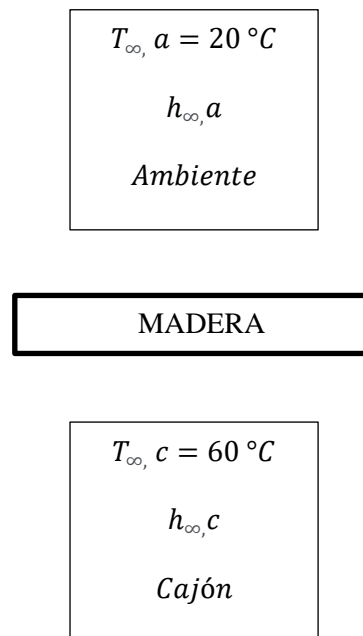
$$h_{\infty,a} = \frac{248.65 * 0.025325 \frac{W}{m^2C}}{1.12 m}$$

$$h_{\infty,a} = 5.622 \frac{W}{m^2C}$$

$$q_{pared2} = \frac{(60 - 20)^{\circ}C}{\left[ \left( \frac{1}{3.85} \right) + \left( \frac{0.03}{0.50} \right) + \left( \frac{0.10}{0.72} \right) + \left( \frac{0.03}{0.50} \right) + \left( \frac{0.10}{5.622} \right) \right] \left( \frac{1}{0.8288 m^2} \right) \frac{m^2C}{W}}$$

$$q_{pared2} = 47.6 W$$

- Pérdidas de la Puerta 2

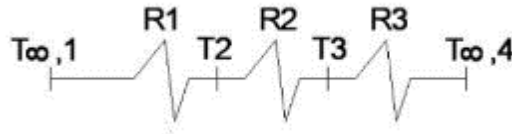


**Figura 9-3:** Puerta 2 de madera.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Circuito térmico de la puerta 2

En base a la Figura 9-3 se elabora el circuito térmico que representa las resistencias y temperaturas en la puerta 2 de madera.



**Figura 10-3:** Circuito térmico de la puerta 2.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Cálculo del área de la puerta 2

$$A_{puerta2} = (74 \text{ cm} \times 85 \text{ cm}) = 6290 \text{ cm}^2$$

$$A_{puerta2} = 0.629 \text{ m}^2$$

$$T_f = 57.5 \text{ }^\circ\text{C} = 330.65 \text{ }^\circ\text{K}$$

Con la temperatura fílmica 57.5 °C encontraremos las propiedades del vapor saturado ANEXO E

$$\delta = 0.11745 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu = 1.085 \times 10^{-5} \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$$

$$V_0 = 7.968 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$L_c = 0.85 \text{ m}$$

$$Re = \frac{\left(0.11745 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) * \left(7.968 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) (0.85 \text{ m})}{1.085 \times 10^{-5}}$$

$$Re = 73314.78$$

$$Pr = 1$$

$$Nu = 0.662 * (Re_L)^{0.5} * Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 0.662 * (73314.78)^{0.5} * (1)^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 179.24$$

$$k_f = 0.021 \frac{W}{m^{\circ}K}$$

$$h_{\infty,c} = \frac{Nu * k_f}{L_c}$$

$$h_{\infty,c} = \frac{179.24 * 0.021 \frac{W}{m^{\circ}K}}{0.85 m}$$

$$h_{\infty,c} = 4.43 \frac{W}{m^2 \circ K}$$

- Coeficiente convectivo en el ambiente exterior del cajón

$$Gr = \frac{gLc^3 \beta (T_w - T_b)}{\nu^2}$$

$$Gr = \frac{9.81 \frac{m}{s^2} * (0.85 m)^3 * (0.0444 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1})(25 - 20)}{\left(1.539 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}\right)^2}$$

$$Gr = 5.64 \times 10^9$$

$$Ra = GrPr$$

$$Ra = (5.64 \times 10^9)(0.73025)$$

$$Ra = 4.12 \times 10^9$$

$$Nu = \left[ 0.825 + \frac{0.387 Ra^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$

$$N_u = \left[ 0825 + \frac{0.387 (4.12 \times 10^9)^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.492}{0.73025} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$

$$N_u = 191.7$$

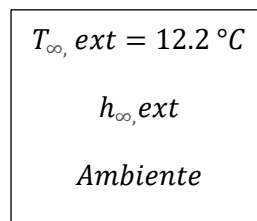
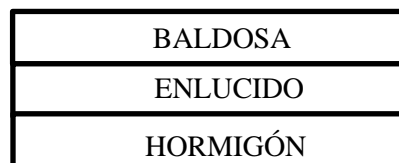
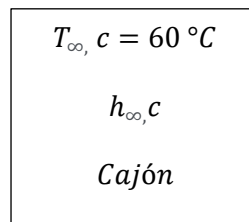
$$h_{\infty,a} = \frac{191.7 * 0.025325 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}}{0.85 m}$$

$$h_{\infty,a} = 5.71 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$q_{puerta2} = \frac{(60 - 20)^\circ C}{\left[ \left( \frac{1}{4.43} \right) + \left( \frac{0.03}{0.159} \right) + \left( \frac{1}{5.71} \right) \right] \left( \frac{1}{0.629 m^2} \right) \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}}$$

$$q_{puerta2} = 42.67 W$$

- Pérdidas en el Piso



**Figura 11-3:** Piso de hormigón, enlucido y baldosa

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

- Circuito térmico del piso

En base a la Figura 11-3 se elabora el circuito térmico que representa las resistencias y temperaturas en el piso de hormigón, enlucido y baldosa.



**Figura 12-3:** Circuito térmico del piso de hormigón, enlucido y baldosa

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

$$q_x = \frac{T_{\infty c} - T_{\infty ext}}{(\sum R_t) \left( \frac{1}{A_{puerta}} \right)}$$

$$q_{piso} = \frac{1}{\left[ \left( \frac{1}{h_{\infty c}} \right) + \left( \frac{eb}{Kb} \right) + \left( \frac{ee}{Ke} \right) + \left( \frac{eh}{Kh} \right) + \left( \frac{1}{h_{\infty ext}} \right) \right] \left( \frac{1}{A_{piso}} \right)}$$

- Cálculo del área del piso

$$A_{piso} = (74 \text{ cm} \times 85 \text{ cm}) = 6290 \text{ cm}^2$$

$$A_{piso} = 0.629 \text{ m}^2$$

- Espesor de los componentes que forman el piso

$$eb = \text{Espesor de la baldosa} = 0.003 \text{ m}$$

$$ee = \text{Espesor del enlucido} = 0.03 \text{ m}$$

$$eh = \text{Espesor del hormigón} = 0.25 \text{ m}$$

- Conductividad térmica de los componentes que forman el piso

$$kb = \text{Conductividad térmica de la baldosa} = 0.810 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$ke = \text{Conductividad térmica del enlucido} = 0.50 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$kh = \text{Conductividad térmica del hormigón} = 1.4 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$T_f = 57.5 \text{ } ^\circ\text{C} = 330.65 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Con la temperatura fílmica 57.5 °C encontraremos las propiedades del vapor saturado ANEXO E

$$\delta = 0.11745 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu = 1.085 \times 10^{-5} \frac{N \cdot s}{m^2}$$

$$V_0 = 7.968 \frac{m}{s}$$

$$L_c = 0.85 m$$

$$Re = \frac{\left(0.11745 \frac{kg}{m^3}\right) * \left(7.968 \frac{m}{s}\right) (0.85 m)}{1.085 \times 10^{-5}}$$

$$Re = 73314.78$$

$$Pr = 1$$

$$Nu = 0.662 * (Re_L)^{0.5} * Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 0.662 * (73314.78)^{0.5} * (1)^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 179.24$$

$$k_f = 0.021 \frac{W}{m^{\circ}K}$$

- Coeficiente convectivo en el cajón

$$h_{\infty,c} = \frac{Nu * k_f}{L_c}$$

$$h_{\infty,c} = \frac{179.24 * 0.021 \frac{W}{m^{\circ}K}}{0.85 m}$$

$$h_{\infty,c} = 4.43 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

- Coeficiente convectivo ambiente exterior

$$h_{\infty,ext} = 5.7 + 3.0v$$

Donde:

$h_{\infty,ext} = \text{Coeficiente convectivo ambiente exterior, en } \frac{W}{m^2 \cdot K}$

$v = \text{Velocidad del aire local, en } \frac{m}{s}$

$v = 0$

$$h_{\infty,ext} = 5.7 + 3.0 \left( 0 \frac{m}{s} \right)$$

$$h_{\infty,ext} = 5.7 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$q_{piso} = \frac{1}{\left[ \left( \frac{1}{h_{\infty c}} \right) + \left( \frac{eb}{Kb} \right) + \left( \frac{ee}{Ke} \right) + \left( \frac{eh}{Kh} \right) + \left( \frac{1}{h_{\infty ext}} \right) \right]} \left( \frac{1}{A_{piso}} \right)$$

$$q_{piso} = \frac{1}{\left[ \left( \frac{1}{4.43} \right) + \left( \frac{0.003}{0.810} \right) + \left( \frac{0.03}{0.5} \right) + \left( \frac{0.25}{1.4} \right) + \left( \frac{1}{5.7} \right) \right]} \left( \frac{1}{0.629} \right)$$

$$q_{piso} = 46.72 \text{ W}$$

### 3.1.1.3. Pérdidas de calor en el cajón

A continuación se muestra una tabla resumen en la cual se detalla las pérdidas de calor en el cajón así como las pérdidas que genera la persona.

**Tabla 1-3: Pérdidas de calor en el cajón**

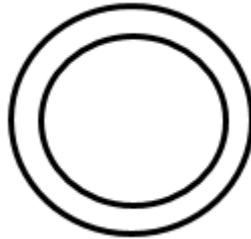
PARTES	PÉRDIDAS	
	W	%
Pared P1	53.3	4.49
Pared P2	47.6	4.01
Pared P3	53.3	4.49
Puerta 1	44.89	3.40
Puerta 2	42.67	3.23
Piso	46.72	3.54
Car Persona	1013	76.81
Total [W]	1301.48	100
Total [BTU/h]	4440.83	

Fuente: Chango J., Zavala D., 2021.

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

### 3.1.1.4. Pérdidas en las tuberías

Las pérdidas de calor se calcularán tomando en cuenta que el vapor se transportará en tubería de cobre conectada desde el generador de vapor hacia el cajón. Este sistema funciona en régimen permanente y la dirección del flujo es radial.



**Figura 13-3:** Diagrama de la tubería de cobre.

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

- Circuito térmico de la tubería de cobre

En base a la Figura 13-3 se elabora el circuito térmico que representa las resistencias y temperaturas en la tubería de cobre.



**Figura 14-3:** Circuito térmico de la tubería de cobre.

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

- Longitud de la tubería

$$L_c = 4 \text{ m}$$

- Temperatura inicial y final

$$P_{abs \text{ vapor}} = (20 + 14.9) \text{ Psi}$$

$$P_{abs \text{ vapor}} = 34.9 \text{ Psi} = 240.627 \text{ Kpa}$$

$$T_{\text{Saturación}} / P_{\text{vapor@34.9 Psi}} = 126.12 \text{ } ^\circ\text{C}$$



$$T_{\infty,i} = 126.12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$T_{si}$  = Temperatura de la superficie interna de la tubería = 120 °C

$T_{se}$  = Temperatura de la superficie externa de la tubería = 100 °C

$$T_{amb} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Dimensiones de la tubería de cobre:

$$\varnothing_{nominal} = 1 \text{ in}$$

$$\varnothing_{ext} = 34.01 \text{ mm}$$

$$r_{ext} = 17.01 \text{ mm}$$

$$\varnothing_{int} = 26.28 \text{ mm}$$

$$r_{int} = 13.14 \text{ mm}$$

- Conductividad térmica del cobre

$$K_C = 401 \frac{W}{m^\circ\text{C}}$$

El cálculo de las pérdidas de calor en la tubería de cobre se realiza a partir de la siguiente ecuación:

$$q_{Tubo-Cobre} = \frac{2\pi L_C (T_{\infty,i} - T_{amb})}{\frac{1}{r_i h_i} + \frac{1}{K_C} \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + \frac{1}{r_o h_o}} \quad (31)$$

Donde:

$q_{Tubo-Cobre}$  = Calor perdido tubería de cobre, en W

$L_C$  = Longitud de la tubería de cobre, en m

$r_i$  = Radio interior de la tubería, en m

$r_o$  = Radio exterior de la tubería, en m

$K_C$  = Coeficiente de conductividad térmica cobre, en  $\frac{W}{m^\circ\text{C}}$

$h_i$  = Coeficiente convectivo del vapor de agua interior del tubo, en  $\frac{W}{m^2^\circ\text{C}}$

$h_o =$  Coeficiente de transferencia de calor por radiación y convección, en  $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

- Evaluación de coeficientes convectivos

Para evaluar las propiedades se utilizará la temperatura fílmica

$T_b =$  Temperatura del fluido

$$T_b = 126.12 \text{ } ^\circ C$$

$T_w =$  Temperatura superficial

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

$T_f =$  Tempertura fílmica

$$T_f = \frac{T_b + T_w}{2} \quad (32)$$

$$T_f = \frac{126.12 + 120}{2}$$

$$T_f = 123.06 \text{ } ^\circ C$$

$$Re = \frac{\delta * V_o * \emptyset_{Tuberia}}{\mu} \quad (33)$$

Donde:

$Re =$  Número de Reynolds

$\delta =$  Densidad del vapor, en  $\frac{kg}{m^3}$

$V_o =$  Velocidad del vapor, en  $\frac{m}{s}$

$\mu =$  Viscosidad dinámica, en  $\frac{N \cdot s}{m^2}$

$\emptyset_{Tuberia} =$  Diámetro interno tubería, en m

Con la temperatura fílmica 123.06 °C encontraremos las propiedades del vapor saturado  
ANEXO E

$$K_f = 0.02789 \frac{W}{m^{\circ}C}$$

$$\delta = 1.23575 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu = 1.306 \times 10^{-5} \frac{N \cdot s}{m^2}$$

$$Pr = 1$$

$$V_0 = 50\sqrt{D}$$

$$V_0 = \text{Velocidad del vapor, en } \frac{m}{s}$$

$$D = \text{Diámetro interno del tubo, en } m = 0.02628 m$$

$$V_0 = 50\sqrt{0.02628 m}$$

$$V_0 = 7.968 \frac{m}{s}$$

$$Re = \frac{\left(1.23575 \frac{kg}{m^3}\right) * \left(7.968 \frac{m}{s}\right) (0.02628 m)}{1.306 \times 10^{-5}}$$

$$Re = 19813.54$$

Petukhov y Popov cuando se trata de un flujo turbulento en una tubería rugosa, recomiendan utilizar la siguiente ecuación para el cálculo del coeficiente convectivo hi.

$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) Re Pr}{1.07 + 12.7 \sqrt{\frac{f}{8}} (Pr^{2/3} - 1)} = \frac{h_c \emptyset_{Tubería}}{K_f} \quad (34)$$

Donde:

$Nu$  = Número de Nusselt

$Re$  = Número de Reynolds

$Pr$  = Número de Prandtl

$$f = [1.82 \log_{10}(Re) - 1.64]^{-2} \quad (35)$$

$f$  = Factor de fricción

$$f = [1.82 \log_{10}(19813.54) - 1.64]^{-2}$$

$$f = 0.026$$

$$Nu = \frac{\left(\frac{0.026}{8}\right)(19813.54)(1)}{1.07 + 12.7 \sqrt{\frac{0.026}{8}}(1^{2/3} - 1)}$$

$$Nu = 60.18$$

En el interior de la tubería de cobre el coeficiente convectivo se determinará mediante la siguiente ecuación.

$$h_i = \frac{Nu K_f}{\emptyset_{Tubería}} \quad (36)$$

Donde:

$Nu =$  Número de Nusselt

$h_i =$  Coeficiente convectivo al interior de la tubería de cobre, en  $\frac{W}{m^2 \cdot K}$

$k_f =$  Conductividad térmica del vapor, en  $\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$

$\emptyset_{Tubería} =$  Diámetro interior de la tubería de cobre, en m

$$h_i = \frac{(60.18)(0.02789) \frac{W}{m \cdot ^\circ C}}{0.02628 \text{ m}}$$

$$h_i = 63.86 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

En la superficie externa de la tubería de cobre existe transferencia de calor por convección natural y radiación, se evaluará cada una de ellas para luego proceder a sumarlas.

$$h_o = h_c + h_{rad} \quad (37)$$

$h_o =$  Coeficiente convectivo de la superficie externa de la tubería al aire, en  $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

$h_c =$  Coeficiente convectivo del ambiente externo,  $5.65 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

$h_{rad} =$  Coeficiente convectivo por radiación solar,  $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

$$h_{rad} = \frac{0.173\varepsilon \left[ \left( \frac{T_{se}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{amb}}{100} \right)^4 \right]}{T_{se} - T_{amb}} \quad (38)$$

Donde:

$$h_{rad} = \text{Coeficiente de radiación, en } \frac{BTU}{hft^2\text{°F}}$$

$$\varepsilon = \text{Coeficiente de emisividad tubería de cobre} = 0.05$$

$$T_{se} = \text{Temperatura en la superficie externa de la tubería, en } \text{°R}$$

$$T_{amb} = \text{Temperatura ambiente, en } \text{°R}$$

$$T_{se} = 100\text{°C} = 671.67 \text{°R}$$

$$T_{amb} = 20\text{°C} = 527.67 \text{°R}$$

$$h_{rad} = \frac{0.173(0.05) \left[ \left( \frac{671.67}{100} \right)^4 - \left( \frac{527.67}{100} \right)^4 \right]}{671.67 - 527.67}$$

$$h_{rad} = 0.0756 \frac{BTU}{hft^2\text{°F}} (5.678263)$$

$$h_{rad} = 0.429 \frac{W}{m^2\text{°C}}$$

$$h_o = (5.65 + 0.429) \frac{W}{m^2\text{°C}}$$

$$h_o = 6.079 \frac{W}{m^2\text{°C}}$$

- Flujo de calor que se pierde en la tubería de cobre

$$q_{Tubería-cobre} = \frac{2\pi L_C (T_{\infty,i} - T_{amb})}{\frac{1}{r_i h_i} + \frac{1}{K_C} \ln \left( \frac{r_o}{r_i} \right) + \frac{1}{r_o h_o}}$$

$$q_{Tubería-cobre} = \frac{2\pi(4)(123.06 - 20)}{\frac{1}{(0.01314)(63.86)} + \frac{1}{401} \ln \left( \frac{0.017005}{0.01314} \right) + \frac{1}{(0.017005)(6.079)}}$$

$$q_{Tubería-cobre} = \frac{2590.18}{10.86} = 238.5 W$$

$$q_{Tubería-cobre} = 813.8 \text{ Btu/h}$$

### 3.1.1.5. Calor necesario para el baño de cajón

Para calcular el calor que se necesita en un baño de cajón hay que considerar el calor requerido para calentar el aire al interior del cajón así como restituir el calor que se perdió en las paredes del cajón, la longitud de tubería y la carga térmica de la persona.

$$Q_{rc} = q_s + Q_P + q_{Tubería-cobre} \quad (39)$$

Donde:

$$q_s = \text{Calor sensible para calentar el aire en el cajón} = 7409.54 \frac{BTU}{h}$$

$$Q_P = \text{Pérdidas por transferencia de calor y carga térmica} = 4440.83 \frac{BTU}{h}$$

$$q_{Tubería-cobre} = \text{Pérdidas por longitud de tubería hacia el cajón} = 813.8 \frac{BTU}{h}$$

$$Q_{rc} = (7409.54 + 4440.83 + 813.8) \frac{BTU}{h}$$

$$Q_{rc} = 12664.17 \frac{BTU}{h}$$

$$Q_{rc} = 3.71 \text{ kW}$$

### 3.1.1.6. Potencia de la caldera

$$P_C = Q_{rc} \quad (40)$$

Donde:

$$Q_{rc} = \text{Calor requerido para el cajón}$$

$$P_C = 3.71 \text{ kW}$$

$$P_C = 12664.17 \frac{BTU}{h}$$

$$1 \text{ BHP} = 33475 \frac{BTU}{h}$$

$$P_C = 12664.17 \frac{BTU}{h} \times \frac{1 \text{ BHP}}{33475 \frac{BTU}{h}}$$

$$P_C = 0.37 \text{ BHP}$$

A partir de los cálculos realizados anteriormente se pudo obtener la potencia de 0.37 BHP que es la potencia necesaria que debe tener nuestro generador de vapor para un cajón.

### 3.1.1.7. Flujo de vapor necesario para calentar el cajón

$Q_{sv}$  = Calor de suministro para calentar el cajón

$$Q_{SV} = \dot{m}_{SV}(h_2 - h_1) \quad (41)$$

$$\dot{m}_{SV} = \frac{Q_{SV}}{h_2 - h_1}$$

$h_2$  = Entalpía del vapor, en  $\frac{kJ}{kg}$ , se encuentra con la presión absoluta de la caldera

$h_1$  = Entalpía del líquido sub – enfriado,  $\frac{kJ}{kg}$ , se encuentra con la presión de la

caldera y con la temperatura del agua de suministro.

A 16 °C se evaluará la densidad del agua, en la tabla de propiedades del agua saturada ANEXO E

$$\delta_{H_2O} = 998.88 \frac{kg}{m^3}$$

$$h_2 = h_g = 1160.512 \frac{BTU}{Lbm} = 2699.36 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_1 = h_f = 28.89 \frac{BTU}{Lbm} = 67.2 \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{m}_{SV} = \frac{12664.17 \frac{BTU}{h}}{(1160.512 - 28.89) \frac{BTU}{lbm}}$$

$$\dot{m}_{SV} = 11.19 \frac{lb}{h} = 5.07 \frac{kg}{h}$$

### 3.1.2. Diseño Mecánico

Como datos de partida para realizar el diseño mecánico de una caldera de potencia el código ASME recomienda lo siguiente:

$$\emptyset_{\text{Cuerpo}} = 40 \text{ cm} \quad \text{Norma} = 16 \text{ in}$$

$$T = 700^{\circ}\text{F} \quad \text{Norma}$$

$$P = 100 \text{ Psi}$$

#### 3.1.2.1. Diseño del cuerpo

$$t = \frac{PD}{2SE + 2yP} + C \quad (42)$$

$$P = \frac{2SE(t - C)}{D - 2y(t - C)} \quad (43)$$

Donde:

$T$  = Espesor mínimo requerido mm

$C$  = Margen mínimo para roscado y estabilidad estructural

$D$  = Diámetro exterior del cilindro mm

$E$  = Eficiencia junta

$S$  = Valor del esfuerzo máximo admisible a la temperatura de diseño psi. ANEXO F

$P$  = Máxima presión de trabajo admisible MAWP psi

$Y$  = Coeficiente de temperatura

$$t = \frac{(100 \text{ psi})(16 \text{ in})}{(2)(13919.272 \text{ psi})x1 + 2(0.4)(100 \text{ psi})} + 0$$

$$t = 0.057 \text{ in}$$

Debido a que el espesor que nos da como resultado no hay en el mercado se selecciona un espesor nominal de 0.25 in

$$P = \frac{2x13919.272x1(0.25 - 0)}{16 - 2x0.4(0.25 - 0)}$$

$$P = 440.48 \text{ psi} \quad \text{MAWP}$$



### 3.1.2.2. Diseño de la cámara de combustión

Para el diseño de la cámara de combustión nos asumiremos un espesor de 0.25 in (6mm) y como diámetro externo se tomará el diámetro mínimo que recomienda el código para el cuerpo de la caldera 16 in igual al espesor del cuerpo y para el cálculo del MAWP se seguirá las recomendaciones del código ASME

$$\frac{L}{D_o} = \frac{24 \text{ in}}{16 \text{ in}} = 1.5$$

$$\frac{D_o}{t} = \frac{16 \text{ in}}{0.25 \text{ in}} = 64$$

Con el valor calculado ingresamos en la figura G de la sección II, parte D del código ASME (ANEXO G) y determinamos el valor de A

$$A = 0.0018$$

Con el valor calculado ingresamos en la figura CS-2 de la sección II, parte D del código ASME (ANEXO H) y determinamos el valor de B

$$B = 9100 \text{ psi}$$

El cálculo de la máxima presión de trabajo se la realiza mediante la fórmula que establece el código ASME

$$MAWP = \frac{4B}{3 \left( \frac{D_o}{t} \right)} \quad (44)$$

Donde:

*B*: factor determinado psi

*t*: Espesor mínimo requerido mm

*Do*: Diámetro exterior mm

$$MAWP = \frac{4(9100 \text{ psi})}{3 \left( \frac{16 \text{ in}}{0.25 \text{ in}} \right)}$$

$$MAWP = 189.58 \text{ Psi}$$

### 3.1.2.3. Diseño de las tapas planas

$$t = d \sqrt{\frac{CP}{S}} \quad (45)$$

Donde:

$T =$  Espesor mínimo requerido mm

$D =$  Diámetro menor mm

$C =$  Factor adimensional depende de la fijación de la tapa

$S =$  Esfuerzo máximo admisible a la temperatura de diseño psi

El cálculo del espesor de los espejos o tapas planas se lo puede realizar con la fórmula planteada anteriormente o también siguiendo las recomendaciones del Código ASME el cual menciona que las placas que no formen parte de las paredes del cuerpo como tapas planas, deben tener un espesor mínimo de  $\frac{5}{16}$ " = 8 mm, entonces hemos seleccionado dicho espesor para las placas de los espejos.

### 3.1.2.4. Diseño de tubos de humo

Estos tubos están sujetos a una presión externa lo cual debemos comprobar que resista.

Según la sección IV del Código ASME en la tabla HG-315 el espesor mínimo para los tubos debe ser de  $t = 0.095$ ", por seguridad de diseño hemos seleccionado una tubería de  $t=0.13$ " que corresponde a una tubería de  $\emptyset = 1$ "

$$L_{Tubo} = 0.048xBHP + 0.315 \quad (46)$$

$$L_{Tubo} = 0.555 \text{ m}$$

$$A_{tct} = (\pi)(D_{ext})(L_{Tubo}) \quad (47)$$

$$A_{tct} = \pi(0.0334)(0.555)$$

$$A_{tct} = 0.0582 \text{ m}^2$$

$$A_{tcc} = (\pi)(D_{ext})(L_{Tubo}) \quad (48)$$

$$A_{tcc} = \pi(0.1143)(0.555)$$

$$A_{tcc} = 0.199 \text{ m}^2$$

$$A_{TTC} = 0.465(BHP) - 0.004 \quad (49)$$

$$A_{TTC} = 2.321 \text{ m}^2$$

$$N_{tubos} = \frac{A_{TTC} - A_{tcc}}{A_{tct}} \quad (50)$$

$$N_{tubos} = 36$$

Los tubos de fuego también están sometidos a una presión y para asegurar su diseño se realiza el cálculo del MAWP siguiendo las especificaciones y fórmulas planteadas en el código ASME.

$$\frac{L}{D_o} = \frac{21.85 \text{ in}}{1 \text{ in}} = 21.85$$

$$\frac{D_o}{t} = \frac{1 \text{ in}}{0.095 \text{ in}} = 10.52$$

Con el valor calculado ingresa en la figura G de la sección II, parte D del código ASME (ANEXO I) y determino el valor de A

$$A = 0.012$$

Con el valor calculado ingresa en la figura CS-2 de la sección II, parte D del código ASME (ANEXO J) y determino el valor de B

$$B = 12300 \text{ psi}$$

El cálculo de la máxima presión de trabajo se la realiza mediante la fórmula que establece el código ASME

$$MAWP = \frac{4B}{3 \left( \frac{D_o}{t} \right)}$$

Donde:

*B: factor determinado psi*

*t: Espesor mínimo requerido mm*

*Do: Diámetro exterior mm*

$$MAWP = \frac{4(12300 \text{ psi})}{3 \left( \frac{1 \text{ in}}{0.095 \text{ in}} \right)}$$

$$MAWP = 1558 \text{ Psi}$$

### 3.1.2.5. Diseño de bocas

Las calderas deben tener sus respectivas conexiones de entrada y salida de fluidos, con su respectiva instrumentación de control. Se debe realizar un agujero en la boca para poder instalar la caldera va existir un desgaste y debilitarse en la zona que se realizó el agujero, para eso se debe evitar que exista alguna falla.

De acuerdo a la sección PG-32.1.3 del código ASME el diámetro máximo se determinará con la siguiente ecuación.

$$d_{max} = 2.75 [D_t(1 - K)]^{\frac{1}{3}} \quad (51)$$

$$K = \frac{PD}{1.82 St} \quad (52)$$

Donde:

*D*: Diámetro exterior del cuerpo mm

*t*: Espesor nominal del cuerpo mm

*S*: Esfuerzo admisible a la temperatura de diseño psi. ANEXO F

$$d_{max} = 2.75 \left[ 16 \text{ in} \times 0.25 \left( 1 - \left( \frac{100(16)}{1.82(13919.272)(0.25)} \right) \right) \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$d_{max} = 3.96 \text{ in}$$

## 3.2. Rediseño del generador de vapor

Se realiza un rediseño tanto térmico como mecánico ya que en el diseño desarrollado anteriormente algunos valores fueron asumidos

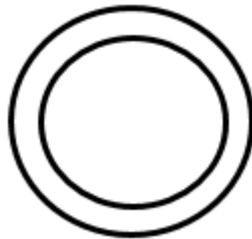
### 3.2.1. Rediseño Térmico

#### 3.2.1.1. Pérdidas en las tuberías

Para el cálculo de pérdidas en la tubería nos asumimos un diámetro y longitud de tubería de cobre, pero luego de haber determinado el lugar exacto donde se va a colocar el sistema de baños

de cajón necesitamos 12 m de longitud y en base a recomendaciones se utilizará un diámetro de ½ in ya que se trabajará con bajas presiones y además es uno de los tubos más utilizados en este tipo de sistemas. Por esta razón se procede a realizar un recalcu de las pérdidas en la tubería.

Las pérdidas de calor en la tubería se calculará tomando en cuenta que el vapor se transportará en tubería de cobre tipo L de ½ in conectada desde el generador de vapor hacia el cajón. Este sistema funciona en régimen permanente y la dirección del flujo es radial.



**Figura 15-3:** Diagrama de la tubería de cobre.

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

- Circuito térmico de la tubería de cobre

En base a la Figura 15-3 se elabora el circuito térmico que representa las resistencias y temperaturas en la tubería de cobre.



**Figura 16-3:** Circuito térmico de la tubería de cobre.

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

- Dimensión de la tubería

$$L_{TC} = 12 \text{ m}$$

- Temperatura inicial y final

$$P_{abs \text{ vapor}} = (40 + 14.9) \text{ Psi}$$

$$P_{abs \text{ vapor}} = 54.9 \text{ Psi} = 378.52 \text{ Kpa}$$

$$\frac{T_{\text{Saturación}}}{P_{\text{vapor@ } 54.9 \text{ Psi}}} = 141.62 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\infty, i} = 141.62 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$T_{si} = \text{Temperatura de la superficie interna de la tubería} = 130 \text{ } ^\circ\text{C}$

$T_{se} = \text{Temperatura de la superficie externa de la tubería} = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$

$T_{amb} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$

- Dimensiones de la tubería de cobre

$$\varnothing_{nominal} = 1/2 \text{ in}$$

$$\varnothing_{ext} = 15.875 \text{ mm}$$

$$r_{ext} = 7.9375 \text{ mm}$$

$$\varnothing_{int} = 13.843 \text{ mm}$$

$$r_{int} = 6.9215 \text{ mm}$$

- Conductividad térmica del cobre

$$K_C = 401 \frac{W}{m^\circ\text{C}}$$

El cálculo de las pérdidas de calor en la tubería de cobre se realiza a partir de la siguiente ecuación:

$$q_{\text{Tubo-Cobre}} = \frac{2\pi L_C (T_{\infty,i} - T_{amb})}{\frac{1}{r_i h_i} + \frac{1}{K_C} \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + \frac{1}{r_o h_o}}$$

Donde:

$q_{\text{Tubo-Cobre}} = \text{Calor perdido tubería de cobre, en } W$

$L_C = \text{Longitud de la tubería de cobre, en } m$

$r_i = \text{Radio interior de la tubería, en } m$

$r_o = \text{Radio exterior de la tubería, en } m$

$K_C = \text{Coeficiente de conductividad térmica cobre, en } \frac{W}{m^\circ\text{C}}$

$h_i = \text{Coeficiente convectivo del vapor de agua interior del tubo, en } \frac{W}{m^2^\circ\text{C}}$

$h_o =$  Coeficiente de transferencia de calor por radiación y convección, en  $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

- Evaluación de coeficientes convectivos

Para evaluar las propiedades se utilizará la temperatura fílmica

$T_b =$  Temperatura del fluido

$$T_b = 141.62 \text{ } ^\circ C$$

$T_w =$  Temperatura superficial

$$T_w = 130 \text{ } ^\circ C$$

$T_f =$  Tempertura fílmica

$$T_f = \frac{T_b + T_w}{2}$$

$$T_f = \frac{141.62 + 130}{2}$$

$$T_f = 135.81 \text{ } ^\circ C$$

$$Re = \frac{\delta * V_o * \emptyset_{Tubería}}{\mu}$$

Donde:

$Re =$  Número de Reynolds

$\delta =$  Densidad del vapor, en  $\frac{kg}{m^3}$

$V_o =$  Velocidad del vapor, en  $\frac{m}{s}$

$\mu =$  Viscosidad dinámica, en  $\frac{N \cdot s}{m^2}$

$\emptyset_{Tubería} =$  Diámetro interno tubería, en m

Con la temperatura fílmica 135.81 °C encontraremos las propiedades del vapor saturado

ANEXO E

$$K_f = 0.02955 \frac{W}{m^{\circ}C}$$

$$\delta = 1.7684 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu = 1.35 \times 10^{-5} \frac{N \cdot s}{m^2}$$

$$Pr = 1.01581$$

$$V_0 = 50\sqrt{D}$$

$$V_0 = \text{Velocidad del vapor, en } \frac{m}{s}$$

$$D = \text{Diámetro interno del tubo, en } m = 0.013843 m$$

$$V_0 = 50\sqrt{0.013843m}$$

$$V_0 = 5.882 \frac{m}{s}$$

$$Re = \frac{\left(1.7684 \frac{kg}{m^3}\right) * \left(5.882 \frac{m}{s}\right) (0.013843 m)}{1.35 \times 10^{-5}}$$

$$Re = 10666$$

Petukhov y Popov cuando se trata de un flujo turbulento en una tubería rugosa, recomiendan utilizar la siguiente ecuación para el cálculo del coeficiente convectivo hi.

$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) Re Pr}{1.07 + 12.7 \sqrt{\frac{f}{8}} (Pr^{2/3} - 1)} = \frac{h_c \emptyset_{Tubería}}{K_f}$$

Dónde:

$Nu$  = Número de Nusselt

$Re$  = Número de Reynolds

$Pr$  = Número de Prandtl

$$f = [1.82 \log_{10}(Re) - 1.64]^{-2}$$



$f =$  Factor de fricción

$$f = [1.82 \log_{10}(10666) - 1.64]^{-2}$$

$$f = 0.031$$

$$Nu = \frac{\left(\frac{0.031}{8}\right)(10666)(1.01581)}{1.07 + 12.7 \sqrt{\frac{0.031}{8}} (1.01581^{2/3} - 1)}$$

$$Nu = 38.935$$

En el interior de la tubería de cobre el coeficiente convectivo se determinará mediante la siguiente ecuación.

$$h_i = \frac{Nu K_f}{\emptyset_{Tubería}}$$

Donde:

$Nu =$  Número de Nusselt

$h_i =$  Coeficiente convectivo al interior de la tubería de cobre, en  $\frac{W}{m^2 \cdot K}$

$k_f =$  Conductividad térmica del vapor, en  $\frac{W}{m \cdot C}$

$\emptyset_{Tubería} =$  Diámetro interior de la tubería de cobre, en  $m$

$$h_i = \frac{(38.935)(0.02955) \frac{W}{m \cdot C}}{0.013843 m}$$

$$h_i = 83.11 \frac{W}{m^2 \cdot C}$$

En la superficie externa de la tubería de cobre existe transferencia de calor por convección natural y radiación, se evaluará cada una de ellas para luego proceder a sumar.

$$h_o = h_c + h_{rad}$$

$h_o =$  Coeficiente convectivo de la superficie externa de la tubería al aire, en  $\frac{W}{m^2} \cdot C$

$h_c =$  Coeficiente convectivo del ambiente externo,  $5.65 \frac{W}{m^2} \cdot C$

$h_{rad} = \text{Coeficiente convectivo por radiación solar, } \frac{W}{m^2} \text{ } ^\circ\text{C}$

$$h_{rad} = \frac{0.173\varepsilon \left[ \left( \frac{T_{se}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{amb}}{100} \right)^4 \right]}{T_{se} - T_{amb}}$$

Donde:

$h_{rad} = \text{Coeficiente de radiación, en } \frac{BTU}{hft^2^\circ\text{F}}$

$\varepsilon = \text{Coeficiente de emisividad tubería de cobre} = 0.05$

$T_{se} = \text{Temperatura en la superficie externa de la tubería, en } ^\circ\text{R}$

$T_{amb} = \text{Temperatura ambiente, en } ^\circ\text{R}$

$$T_{se} = 100^\circ\text{C} = 671.67^\circ\text{R}$$

$$T_{amb} = 20^\circ\text{C} = 527.67^\circ\text{R}$$

$$h_{rad} = \frac{0.173(0.05) \left[ \left( \frac{671.67}{100} \right)^4 - \left( \frac{527.67}{100} \right)^4 \right]}{671.67 - 527.67}$$

$$h_{rad} = 0.0756 \frac{BTU}{hft^2^\circ\text{F}} (5.678263)$$

$$h_{rad} = 0.429 \frac{W}{m^2^\circ\text{C}}$$

$$h_o = (5.65 + 0.429) \frac{W}{m^2^\circ\text{C}}$$

$$h_o = 6.079 \frac{W}{m^2^\circ\text{C}}$$

- Flujo de calor que se pierde en la tubería de cobre

$$q_{\text{Tubería-cobre}} = \frac{2\pi L_C (T_{\infty,i} - T_{amb})}{\frac{1}{r_i h_i} + \frac{1}{K_C} \ln \left( \frac{r_o}{r_i} \right) + \frac{1}{r_o h_o}}$$

$$q_{\text{Tubería-cobre}} = \frac{2\pi(12)(141.62 - 20)}{\frac{1}{(0.0069215)(83.11)} + \frac{1}{401} \ln \left( \frac{0.0079375}{0.0069215} \right) + \frac{1}{(0.0079375)(6.079)}}$$

$$q_{Tubería-cobre} = \frac{9169.93}{22.463}$$

$$q_{Tubería-cobre} = 408.22 \text{ W}$$

$$q_{Tubería-cobre} = 1392.90 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}$$

### 3.2.1.2. Calor necesario para el baño de cajón

Debido a que el dato de las pérdidas en la tubería vario, se debe recalcular el calor necesario para el baño de cajón.

$$Q_{rc} = q_s + Q_p + q_{Tubería-Cobre}$$

Donde:

$$q_s = \text{Calor sensible para calentar el aire en el cajón} = 7409.54 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Q_p = \text{Pérdidas por transferencia de calor y carga térmica} = 4440.83 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$q_{Tubería-cobre} = \text{Pérdidas por longitud de tubería hacia el cajón} = 1392.90 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Q_{rc} = (7409.54 + 4440.83 + 1392.90) \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Q_{rc} = 13243.27 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Q_{rc} = 3.8 \text{ kW}$$

Una vez encontrado el calor real que se necesitará para los baños de cajón se procede a realizar la evaluación de la caldera, para ello se debe encontrar la potencia real y su rendimiento.

### 3.2.1.3. Potencia de la caldera

$$P_c = Q_{rc}$$

Donde:

$$Q_{rc} = \text{Calor requerido para el cajón}$$

La potencia de la caldera va a depender del número de cajones que se vayan a instalar, en nuestro caso el sistema se diseñará para 3 cajones.

- Para 1 cajón

$$P_C = 13243.27 \frac{BTU}{h}$$

$$P_C = 3.8 \text{ kW}$$

- Para 2 cajones

$$P_C = 13243.27 \times 2 \frac{BTU}{h}$$

$$P_C = 26486.54 \frac{BTU}{h}$$

$$P_C = 7.6 \text{ kW}$$

- Para 3 cajones

$$P_C = 13243.27 \times 3 \frac{BTU}{h}$$

$$P_C = 39729.81 \frac{BTU}{h}$$

$$P_C = 11.4 \text{ kW}$$

#### 3.2.1.4. Rendimiento del generador de vapor

$$n = \frac{Q_u}{Q_c} \times 100 \quad (53)$$

$$\delta_{H_2O} = 998.88 \text{ kg}/\text{m}^3 \text{ @ } 16^\circ\text{C Temperatura del agua}$$

$$h_2 = h_g = 1176.062 \text{ Btu}/\text{Lbm} = 2735.52 \text{ kJ}/\text{kg}$$

$$h_1 = h_{f@16^\circ\text{C}} = 28.89 \text{ Btu}/\text{Lbm} = 67.2 \text{ kJ}/\text{kg}$$

#### 3.2.1.5. Flujo de vapor necesario para calentar el cajón

Para poder conocer el rendimiento del generador de vapor se debe conocer el flujo de vapor necesario para poder calentar los 3 cajones.

$Q_{sv}$  = Calor de suministro para calentar el cajón

$$Q_{SV} = \dot{m}_{SV}(h_2 - h_1)$$

$$\dot{m}_{SV} = \frac{Q_{SV}}{h_2 - h_1}$$

$h_2$  = Entalpía del vapor, en  $\frac{kJ}{kg}$ , se encuentra con la presión absoluta de la caldera

$h_1$  = Entalpía del líquido sub – enfriado,  $\frac{kJ}{kg}$ , se encuentra con la **presión** de la caldera y con la temperatura del agua de suministro.

A 16 °C se evaluará la densidad del agua, en la tabla de propiedades del agua saturada ANEXO E

$$\delta_{H_2O} = 998.88 \frac{kg}{m^3}$$

$$h_2 = h_g = 1176.062 \frac{BTU}{Lbm} = 2735.52 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_1 = h_f = 28.89 \frac{BTU}{Lbm} = 67.2 \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{m}_{SV} = \frac{39729.81 \frac{BTU}{h}}{(1176.062 - 28.89) \frac{BTU}{lbm}}$$

$$\dot{m}_{SV} = 34.6 \frac{lb}{h} = 15.6 \frac{kg}{h}$$

$$Q_u = \dot{D}_V(h_2 - h_1)$$

$$\dot{m}_{SV} = \dot{D}_V \tag{54}$$

$$Q_u = 15.6 * (2735.52 - 67.2)$$

$$Q_u = 41625.79 \frac{kJ}{h}$$

$$Q_C = \dot{m}_C x PCI \tag{55}$$

Donde:

$\dot{m}_c = \text{Flujo másico del combustible, en } \frac{kg}{h}$

$PCI = \text{Poder calorífico del combustible, en } \frac{kJ}{kg}$

$V_{Combustible} = 1.1 \text{ lt} = 0.0011 \text{ m}^3 \text{ en } 40 \text{ min}$ , tiempo que se demora en calentar 73 lt de agua fría

$PCI_{Diesel} = 42600 \frac{kJ}{Kg}$

$$\delta_{Diesel} = 840 \frac{Kg}{m^3}$$

$$m_c = 840 \frac{Kg}{m^3} \times 0.0011 \text{ m}^3$$

$$m_c = 0.924 \text{ kg}$$

$$\dot{m}_c = \frac{0.924 \text{ kg}}{0.67 \text{ h}}$$

$$\dot{m}_c = 1.37 \frac{kg}{h}$$

$$Q_c = \left(1.37 \frac{kg}{h}\right) \left(42600 \frac{kJ}{kg}\right)$$

$$Q_c = 58362 \frac{kJ}{h}$$

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_c} \times 100$$

$$\eta = \frac{41625.79 \frac{kJ}{h}}{58362 \frac{kJ}{h}} \times 100$$

$$\eta = 72 \%$$

### 3.2.1.6. Potencia real de la caldera

Teniendo como dato de partida la eficiencia procederemos a encontrar la potencia real de la caldera, para lo cual se aplicara la siguiente fórmula:

$$P_r = \frac{Pt}{\eta} \tag{56}$$

Donde:

$P_r = \text{Potencia real, en kW}$

$P_t = \text{Potencia teórica, en kW}$

$n = \text{Eficiencia } 72\%$

$$P_r = \frac{11.4 \text{ kW}}{0.72}$$

$$P_r = 15.8 \text{ kW}$$

$$P_r = 53911.8 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$1 \text{ BHP} = 33475 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$P_r = 53911.8 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ BHP}}{33475 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}}$$

$$P_r = 1.5 \text{ BHP}$$

La potencia real que el generador de vapor necesitará para abastecer vapor a los 3 cajones es de 1.5 BHP para cumplir con este requerimiento en el quemador del generador de vapor se ocupará una boquilla para la salida de diésel de 0.5 GPH con lo que se obtendrá aproximadamente 1.7 BHP sabiendo que 3 GPH equivale a 10 BHP.

### 3.2.2. Rediseño Mecánico

Una vez determinada la potencia real que se requiere para el generador de vapor, debemos realizar un rediseño de cada una de las partes del mismo, para ello se aumentará el valor del diámetro del cuerpo teniendo en cuenta que el código ASME recomienda como mínimo 40 cm (16 in) y con esto también mejoraremos la máxima presión de trabajo admisible (MAWP) de cada uno de los componentes.

$$\emptyset_{\text{Cuerpo}} = 46 \text{ cm} = 18 \text{ in}$$

$$T = 700^\circ\text{F} \quad \text{Norma}$$

$$P = 100 \text{ Psi}$$

#### 3.2.2.1. Diseño del cuerpo

$$t = \frac{PD}{2SE+2yP} + C \quad (57)$$

$$P = \frac{2SE(t-C)}{D-2y(t-C)} \quad (58)$$

Donde:

$t$  = Espesor mínimo requerido mm

$C$  = Margen mínimo para roscado y estabilidad estructural

$D$  = Diámetro exterior del cilindro mm

$E$  = Eficiencia junta

$S$  = Valor del esfuerzo máximo admisible a la temperatura de diseño psi (ANEXO F)

$P$  = Máxima presión de trabajo admisible MAWP psi

$y$  = Coeficiente de temperatura

$$t = \frac{(100 \text{ psi})(18 \text{ in})}{(2)(13919.272 \text{ psi})x1 + 2(0.4)(100 \text{ psi})} + 0$$

$$t = 0.064 \text{ in}$$

El espesor mínimo que el Código ASME recomienda para usar en cualquier placa sometida a presión que forme parte del cuerpo de la caldera es de  $6 \text{ mm} = \frac{1}{4}''$

$$P = \frac{2x13919.272x1(0.25 - 0)}{18 - 2x0.4(0.25 - 0)}$$

$$P = 390.99 \text{ psi} \quad \text{MAWP}$$

### 3.2.2.2. Diseño de las tapas planas

$$t = d \sqrt{\frac{CP}{S}} \quad (59)$$

Donde:

$t$  = Espesor mínimo requerido mm

$d$  = Diámetro menor mm

$C$  = Factor adimensional depende de la fijación de la tapa

$S$  = Esfuerzo máximo admisible a la temperatura de diseño psi



El cálculo del espesor de los espejos o tapas planas se lo puede realizar con la fórmula planteada anteriormente o también siguiendo las recomendaciones del Código ASME el cual menciona que las placas que no formen parte de las paredes del cuerpo como tapas planas, deben tener un espesor mínimo de  $\frac{5}{16}$ " = 8 mm, entonces hemos seleccionado dicho espesor para las placas de los espejos.

### 3.2.2.3. Diseño de la cámara de combustión

Para el rediseño de la cámara de combustión aumentaremos el espesor debido a que se quiere mejorar el MAWP por esta razón ocuparemos un espesor de  $\frac{5}{16}$ " = 8 mm y como diámetro externo se tomará el diámetro mínimo que recomienda el código para el cuerpo de la caldera 16 in (40cm) igual al espesor del cuerpo y para el cálculo del MAWP se seguirá las recomendaciones del código ASME

$$\frac{L}{D_o} = \frac{60}{40} = 1.5$$

$$\frac{D_o}{t} = \frac{40}{0.8} = 50$$

Con el valor calculado ingresamos en la figura G de la sección II, parte D del código ASME (ANEXO K) y determinamos el valor de A

$$A = 0.0025$$

Con el valor calculado ingresamos en la figura CS-2 de la sección II, parte D del código ASME (ANEXO L) y determinamos el valor de B

$$B = 9500 \text{ psi}$$

El cálculo de la máxima presión de trabajo se la realiza mediante la fórmula que establece el código ASME

$$MAWP = \frac{4B}{3\left(\frac{D_o}{t}\right)} \quad (60)$$

Donde:

*B: Factor determinado psi*

*t: Espesor mínimo requerido mm*

*Do: Diámetro exterior mm*

$$MAWP = \frac{4(9500)}{3 \left(\frac{40}{0.8}\right)}$$

$$MAWP = 253.33 \text{ Psi}$$

#### 3.2.2.4. Diseño de bocas

Las calderas deben tener sus respectivas conexiones de entrada y salida de fluidos, con su respectiva instrumentación de control. Se debe realizar un agujero en la boca para poder instalar la caldera va existir un desgaste y debilitarse en la zona que se realizó el agujero, para eso se debe evitar que exista alguna falla.

De acuerdo a la sección PG-32.1.3 del código ASME el diámetro máximo se determinará con la siguiente ecuación.

$$d_{max} = 2.75 [D_t(1 - K)]^{\frac{1}{3}} \quad (61)$$

$$K = \frac{PD}{1.82 St}$$

Donde:

*D*: Diámetro exterior del cuerpo mm

*t*: Espesor nominal del cuerpo mm

*S*: Esfuerzo admisible a la temperatura de diseño psi

$$d_{max} = 2.75 \left[ 18 \text{ in} \times 0.25 \left( 1 - \left( \frac{100(18)}{1.82(13919.272)(0.25)} \right) \right) \right]^{\frac{1}{3}} \quad (62)$$

$$d_{max} = 4.06 \text{ in}$$

$$d_{max} = 10.31 \text{ cm}$$

#### 3.2.2.5. Diseño de tubos de humo

Estos tubos esta sujetos a una presión externa lo cual debemos comprobar que resista.

Según la sección IV del Código ASME en la tabla HG-315 el espesor mínimo para los tubos debe ser de  $t = 0.095''$ , por seguridad de diseño hemos seleccionado una tubería de  $t = 0.13 \text{ in}$  que corresponde a una tubería de  $\varnothing = 1''$

$$L_{Tubo} = 0.048xBHP + 0.315$$

$$L_{Tubo-Cal} = 0.459 \text{ m}$$

$$L_{Tubo-Real} = 0.50 \text{ m}$$

$$A_{tct} = (\pi)(D_{ext})(L_{Tubo})$$

$$A_{tct} = \pi(0.0334)(0.50)$$

$$A_{tct} = 0.052 \text{ m}^2$$

$$A_{tcc} = (\pi)(D_{ext})(L_{Tubo})$$

$$A_{tcc} = \pi(0.0334)(0.50)$$

$$A_{tcc} = 0.052 \text{ m}^2$$

$$A_{TTC} = 0.465(BHP) - 0.004$$

$$A_{TTC} = 1.623 \text{ m}^2$$

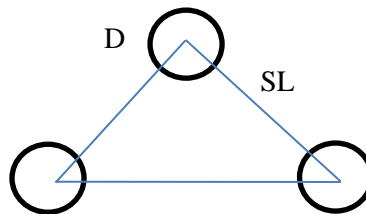
$$N_{tubos} = \frac{A_{TTC} - A_{tcc}}{A_{tct}}$$

$$N_{tubos} = \frac{1.623 - 0.052}{0.052}$$

$$N_{Tubos-Cal} = 30.21$$

$$N_{Tubos-Real} = 32$$

### 3.2.2.6. Distribución de los tubos de humo (escalonado)



**Figura 17-3:** Distribución de los tubos de humo (escalonado).

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

Según los constructores de la empresa SEMI se recomienda que la distancia entre tubos de humo debe ser entre (1.25 – 1.75) por el diámetro exterior del tubo que se va ocupar, en nuestros cálculos se tomó el valor de 1.4

$$\frac{SL}{D} = 1.4 \quad (63)$$

$$SL = 1.4xD$$

$$SL = 1.4x33.4$$

$$SL_{Cal} = 46.76 \text{ mm}$$

$$SL_{Real} = 50 \text{ mm}$$

Los tubos de humo también están sometidos a una presión y para asegurar su diseño se realiza el cálculo del MAWP siguiendo las especificaciones y fórmulas planteadas en el código ASME.

$$\frac{L}{D_o} = \frac{500}{33.4} = 14.97$$

$$\frac{D_o}{t} = \frac{33.4}{3.38} = 9.88$$

Con el valor calculado ingresamos en la figura G de la sección II, parte D del código ASME (ANEXO M) y determinamos el valor de A

$$A = 0.011$$

Con el valor calculado ingresamos en la figura CS-2 de la sección II, parte D del código ASME (ANEXO N) y determinamos el valor de B

$$B = 12000$$

El cálculo de la máxima presión de trabajo admisible (MAWP) se la realiza mediante la fórmula que establece el código ASME

$$MAWP = \frac{4B}{3 \left( \frac{D_o}{t} \right)}$$

Donde:

*B: Factor determinado psi*

*t: Espesor mínimo requerido mm*

Do: Diámetro exterior mm

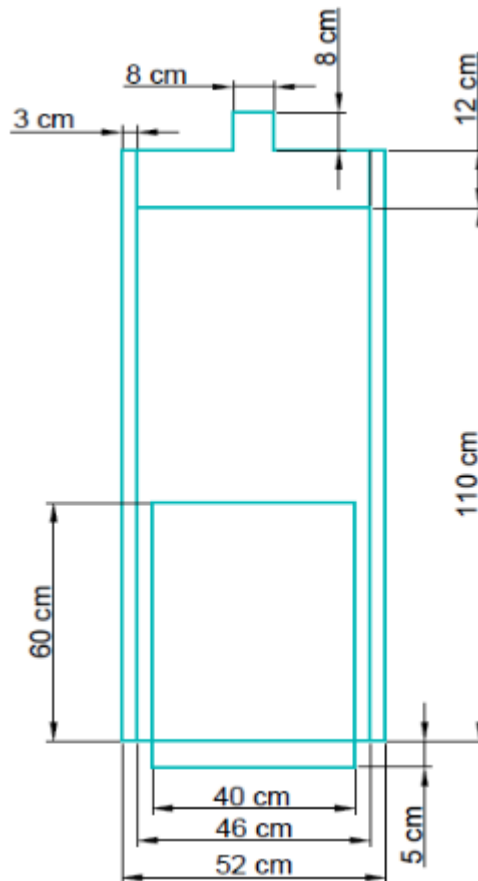
$$MAWP = \frac{4(12000)}{3 \left( \frac{33.4}{3.38} \right)}$$

$$MAWP = 1619.16 \text{ psi}$$

### 3.3. Planificación de la construcción del generador de vapor

#### 3.3.1. Dimensiones del generador de vapor

Una vez realizado el diseño tanto térmico como mecánico se pudo obtener las dimensiones con las que se construirá el generador de vapor, las mismas que fueron plasmadas en un plano con la ayuda del programa AUTOCAD.



**Figura 18-3:** Dimensiones del generador de vapor.

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

#### 3.3.2. Selección de materiales

Para determinar el tipo de material a utilizar para la construcción del generador de vapor nos basamos principalmente en el Código ASME 2010 para Calderas y Recipientes a Presión

### 3.3.2.1. Cuerpo y Espejos

La norma nos recomienda que para las partes de una caldera sometidas a presión o al calor producido por la combustión, se debe usar el acero SA-285 (Placas de acero al carbono, de baja e intermedia resistencia a la tensión, para recipientes a presión).

**Tabla 2-3:** Composiciones químicas SA-285.

<b>Requerimientos Químicos:</b>			
<b>% DE COMPOSICIÓN</b>			
<b>ELEMENTO</b>	<b>GRADO A</b>	<b>GRADO B</b>	<b>GRADO C</b>
Carbón, máx.	0.17	0.22	0.28
Manganeso, máx.			
Colada	0.9	0.9	0.9
Producto	0.98	0.98	0.98
Fósforo, máx.	0.035	0.035	0.035
Sulfuro, máx.	0.035	0.035	0.035

Fuente: (FerreCepsa, 2010)

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

**Tabla 3-3:** Propiedades mecánicas SA-285.

<b>Requerimientos Mecánicos:</b>			
	<b>GRADO A</b>	<b>GRADO B</b>	<b>GRADO C</b>
Fuerza tensión Ksi (Mpa)	45-65 (310-450)	50-70 (345-485)	55-75 (380-515)
Punto de cedencia, Ksi (Mpa)	24(165)	27(185)	30(205)
Elongación en 8 pulg. Mí,%	27	25	23
Elongación en 2 pulg. Mín,%	30	28	27

Fuente: (FerreCepsa, 2010)

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

Con la ayuda del programa CES EduPack se procedió a seleccionar un acero con similares características y propiedades en vista de que el acero SA-285 no es comercial en nuestro país, dándonos como resultado el material AISI 1010, conocido también como acero ASTM 1012.

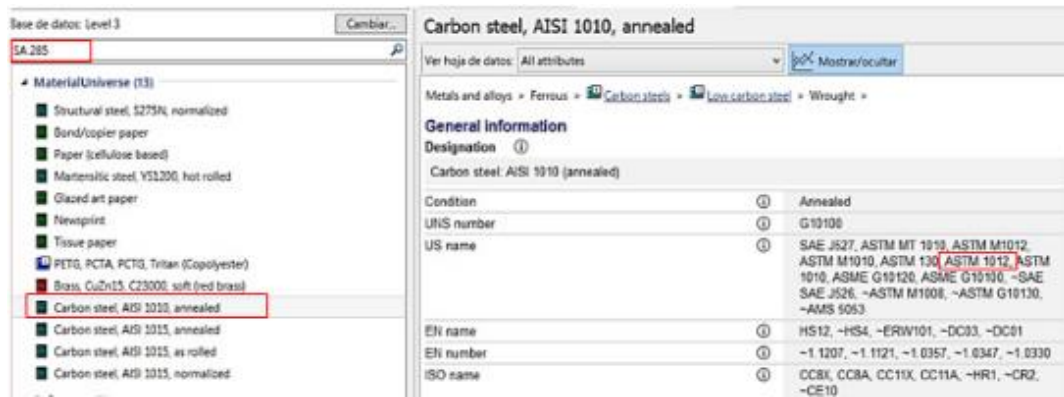


Figura 19-3: Selección del material AISI 1010, Software CES EduPack.

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

**Composition overview**  
**Compositional summary**

Fe99.2-99.6 / Mn0.3-0.6 / C0.08-0.13 (impurities: S<0.05, P<0.04)

Material family	Value
Material family	Metal (ferrous)
Base material	Fe (Iron)

**Composition detail (metals, ceramics and glasses)**

Element	Value	Unit
C (carbon)	0.08 - 0.13	%
Fe (iron)	99.2 - 99.6	%
Mn (manganese)	0.3 - 0.6	%
P (phosphorus)	0 - 0.04	%
S (sulfur)	0 - 0.05	%

**Price**

Property	Value	Unit
Price	0.75 - 0.78	USD/kg
Price per unit volume	5.85e3 - 6.16e3	USD/m³

**Physical properties**

Property	Value	Unit
Density	7.8e3 - 7.9e3	kg/m³

Figura 20-3. Composición química AISI 1010, Software CES EduPack

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

**Mechanical properties**

Property	Value	Unit
Young's modulus	205 - 215	GPa
Specific stiffness	26.1 - 27.4	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	172 - 315	MPa
Tensile strength	310 - 430	MPa
Specific strength	21.9 - 40.1	kN.m/kg
Elongation	29 - 45	% strain
Compressive strength	255 - 315	MPa
Flexural modulus	205 - 215	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	255 - 315	MPa
Shear modulus	79 - 84	GPa
Bulk modulus	158 - 175	GPa
Poisson's ratio	0.285 - 0.295	
Shape factor	64	
Hardness - Vickers	88 - 128	HV
Hardness - Rockwell B	42	HRB

Figura 21-3: Propiedades Mecánicas AISI 1010, Software CES EduPack

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

### Thermal properties

Melting point	①	* 1,49e3	- 1,53e3	°C
Maximum service temperature	①	344	- 357	°C
Minimum service temperature	①	* -68	- -43	°C
Thermal conductivity	①	50	- 54	W/m.°C
Specific heat capacity	①	465	- 505	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	①	11,5	- 13	µstrain/°C
Thermal shock resistance	①	66,7	- 123	°C
Thermal distortion resistance	①	* 3,96	- 4,57	MW/m
Latent heat of fusion	①	* 270	- 275	kJ/kg

**Figura 22-3:** Propiedades Térmicas AISI 1010, Software CES EduPack

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

El programa además nos muestra materiales con similares características para diferentes normas en la cual se verifica que el material AISI 1010 (ASTM 1012) es similar al material SA-285 que recomienda la norma.

### Notes

#### Standards with similar compositions ①

- Argentina:  
IRAM 1010 to IAS, IRAM 1011 to IAS
- Australia:  
C1008 to AS 1446, HRC to AS 1594, ICRC to AS 1595, R1008 to AS 1442, R1008 to AS 1443, R1008 to AS 1446, Temper 4 to AS 1585 Part 2, Temper 5 to AS 1585 Part 2, Temper 6 to AS 1585 Part 2
- India:  
15C4 to IS 11169/1, 15C4 to IS 1570/2/1, 17C 5 to IS 1812, C15 to IS 1570/2/1, CDS-1 to IS 3074, CEW C2 to IS 2039, CEW-1 to IS 3074, Deep Drawing (DD) to IS 12367, Drawing (D) to IS 12367, ERW C2 to IS 2039, ERW-1 to IS 3074, Grade 1 to IS 1673, Grade 2 to IS 1673, Grade 2 to IS 5872, Grade 3 to IS 5872, Grade 4 to IS 7887, Grade 4 to IS 8952, Grade 5 to IS 7887, Grade 5 to IS 8952, IS 11714/2 to IS 11714/2, IS 11714/3 to IS 11714/3, IS 2255 to IS 2255, IS 8057 to IS 8057, YSt 170 Class 1 to IS 1978, YSt 210 to IS 1978
- International:  
CC11X to ISO 4954
- Italy:  
CB10FF to UNI 7356
- USA:  
040 X,Y,Z to SAE J1392, 1010, 1010 to ASTM A29/A29M, 1010 to ASTM A512-96, 1010 to ASTM A513, 1010 to ASTM A519, 1010 to ASTM A568/A568M, 1010 to ASTM A787, 1010 to SAE J403, 1012, 1012 to ASTM A29/A29M, 1012 to ASTM A512-96, 1012 to ASTM A513, 1012 to ASTM A519, 1012 to ASTM A568/A568M, 1012 to MIL-R-8814, 1012 to SAE J403, A179 to ASTM A179/A179M, A2 to ASTM A556/A556M-96, A214 to ASTM A214/A214M, A254 to ASTM A254, A822 to ASTM A822/A822M, C1 to MIL-S-16788A, G10100 to ASTM A510/A510M, G10100 to ASTM A576-90b, G10100 to ASTM A830/A830M, G10120 to ASTM A510/A510M, G10120 to ASTM A576-90b, G10120 to ASTM A830/A830M, Grade A ERW to ASTM A523-96, Grade A Seamless to ASTM A523-96, Grade A to ASTM A1020/A1020M, Grade A to ASTM A178/A178M, Grade B to ASTM A285/A285M, M1010, M1010 to ASTM A29/A29M, M1010 to ASTM A575-96, M1010 to SAE J403, M1012, M1012 to ASTM A29/A29M, M1012 to ASTM A575-96, M1012 to SAE J403, MT1010 to ASTM A512-96, MT1010 to ASTM A513, MT1010 to ASTM A519, MT1010 to ASTM A787, SAE J356 to SAE J356, SAE J524 to SAE J524, SAE J525

**Figura 23-3:** Materiales con composiciones similares al AISI 1010, Software CES EduPack.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

Como se puede apreciar en la figura anterior, según las propiedades se logró encontrar un material que lo comercializa DIPAC en nuestro país el cual es el acero laminado en caliente SAE 1012. (ANEXO O)



**Tabla 4-3:** Propiedades del material SAE 1012.

NORMA	COMPOSICIÓN QUÍMICA							PROPIEDADES MECÁNICAS			
	% C	% Mn	% P	% S	% SI	% AL	% CU	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°	NORMA EQUIVALENTE
JIS G3131	0.08 0.13	0.3 0.6	0.02 Máx.	0.025 Máx.	0.05 Máx.	0.02 0.08	0.2 Máx.	270 min	29 min	O-Oe	SAE 1010 ASTM A-569
SAE 1008	0.03 0.01	0.25 0.5	0.02 Máx.	0.025 Máx.	0.04 Máx.	0.02 0.08	0.2 Máx.				JIS G3132 SPHT1
SAE 1012	0.1 0.15	0.3 0.6	0.02 Máx.	0.025 Máx.	0.03 Máx.	0.02 0.08	0.2 Máx.				ASTM A-635 ASTM A-570 Grado 33

Fuente: (DIPAC, 2016)

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

Para nosotros poder corroborar que DIPAC nos proporcionó el material SAE 1012 se tomó una muestra de dicho material y se realizó la espectrometría en el espectrómetro BRUKER Q2 ION que se encuentra en el laboratorio de Materiales de la Facultad de Mecánica (ESPOCH), con el cual se obtuvieron los resultados de la Figura 24-3.

### Bruker Analysis Report



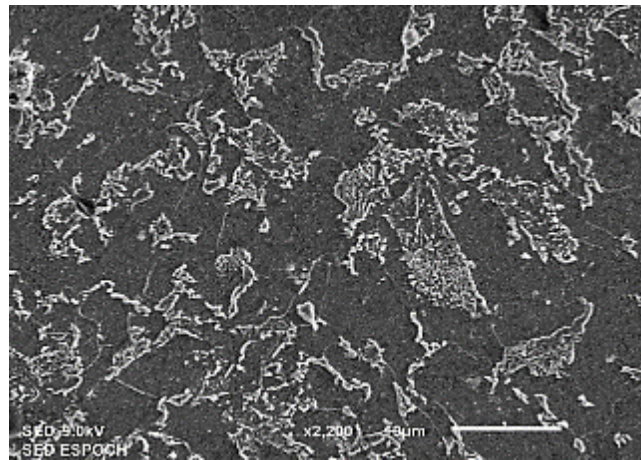
Sample:					
Analysis Time: 09.02.2021 12:07:27			Method: Fe100		
	<b>C [%]</b>	<b>Si [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>P [%]</b>	<b>S [%]</b>
∅	<b>0,094</b>	<b>&lt;0,0100</b>	<b>0,375</b>	<b>&lt;0,0100</b>	<b>&lt;0,0100</b>
	<b>Cr [%]</b>	<b>Mo [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Al [%]</b>
∅	<b>&lt;0,0100</b>	<b>&lt;0,0100</b>	<b>&lt;0,0100</b>	<b>0,019</b>	<b>0,057</b>
	<b>Co [%]</b>	<b>Mg [%]</b>	<b>Nb [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>V [%]</b>
∅	<b>0,0084</b>	<b>&lt;0,0050</b>	<b>0,0098</b>	<b>&lt;0,0030</b>	<b>&lt;0,0050</b>
	<b>W [%]</b>	<b>Fe [%]</b>			
∅	<b>&lt;0,100</b>	<b>99,41</b>			

**Figura 24-3:** Reporte de análisis Bruker.

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

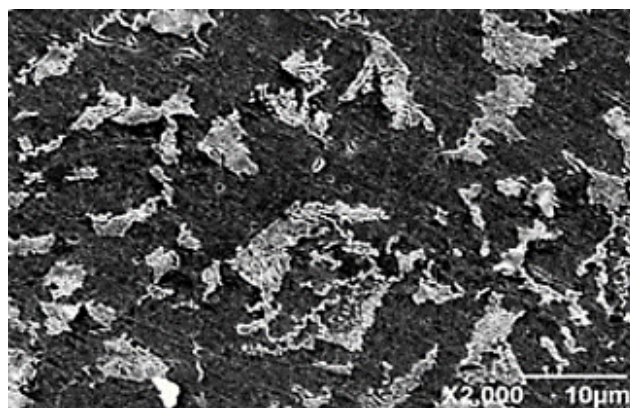
Una vez evaluado las propiedades de la muestra obtenida del material adquirido se verificó que los porcentajes de composición química obtenidos de la espectrometría son muy similares a los que nos muestra la Tabla 4-3 proporcionado por el catálogo DIPAC.

Para mayor seguridad debido a que el generador de vapor es un equipo que trabaja a presión y altas temperaturas necesitamos verificar que el material sea el óptimo para su construcción, para ello se observó la microestructura del material adquirido en el Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) – JEOL JSM IT100 que se encuentra en el laboratorio de Materiales de la Facultad de Mecánica (ESPOCH) Figura 25-3 y se lo comparó con el libro ASM HANDBOOK Figura 26-3.



**Figura 25-3:** Microestructura del acero 1012 mediante SEM a 2.200 X en la cual se puede observar parte de perlita y granos de ferrita

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.



**Figura 26-3:** Microestructura del acero 1012 a 2000 X en la cual se puede observar parte de perlita (blanco) y granos de ferrita (negro).

Fuente: (HANDBOOK, 1985)

### 3.3.2.2. Tubos de fuego

El código recomienda el material SA-53 tubería soldada y sin costura de acero (no se incluye la galvanizada) para tuberías, tubos y partes sometidas a presión.

El ASTM A53 GrB es un material que lo comercializa DIPAC en nuestro país (ANEXO P) utilizado en tubería sin costura, esta tubería es utilizada en aplicaciones de presión así como en la conducción de fluidos ya sea agua, gas, vapor o líneas de aire, esta tubería además es idónea para ser soldada y roscada.

**Tabla 5-3:** Propiedades del acero ASTM A53 GrB.

Chemical Composition									
Grade	Max, %								
	C	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
Type S (seamless pipe)									
Grade A	0.25	0.95	0.05	0.045	0.4	0.4	0.4	0.15	0.08
Grade B	0.3	1.2	0.05	0.045	0.4	0.4	0.4	0.15	0.08
Type E (electric – resistance –welded)									
Grade A	0.25	0.95	0.05	0.045	0.4	0.4	0.4	0.15	0.08
Grade B	0.3	1.2	0.05	0.045	0.4	0.4	0.4	0.15	0.08
Type F (Furnace-welded pipe)									
Grade A	0.3	1.2	0.05	0.045	0.4	0.4	0.4	0.15	0.08
Mechanical Properties									
Strength							Grade A	Grade B	
Tensile strength, min, psi [Mpa]							48000 [330]	60000 [415]	
Yield strength, min, psi [Mpa]							30000 [205]	35000 [240]	
Elongation in 2 in. or 50 mm							e=625 000[1940] A <sup>0.2</sup> /U <sup>0.9</sup>		

Fuente: (Octal, 2018)

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

### 3.3.2.3. Dureza Brinell

Para calcular la dureza Brinell de los materiales acudimos al laboratorio de Materiales de la Facultad de Mecánica (ESPOCH) ya que este laboratorio cuenta con los equipos necesarios para realizar este ensayo además nos basamos en la norma ASTM E 10-78 en la cual especifica a dicha dureza como un procedimiento de ensayo por indentación, para el cual se utiliza el durómetro, el procedimiento que se sigue en este método es forzar una bola de diámetro (D) de acero templado extra duro aplicando una fuerza (P) contra la superficie de la probeta del material del cual se va a encontrar la dureza Brinell, dicha probeta debe tener superficies planas y paralelas, este proceso se lo realiza durante un tiempo (t).



**Figura 27-3:** Durómetro HBRV-187.5.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

El resultado de este método de ensayo será una huella de forma esférica con un diámetro (d) que se formará en la superficie de la probeta del material ensayado. Este diámetro es el que se deberá medir mediante la ayuda de un microscopio como dato para encontrar la dureza.



**Figura 28-3:** Microscopio Mitutoyo.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Para nuestro ensayo en específico se utilizó una bola indentadora de diámetro 2,5 mm.
- El valor de la carga a aplicar se determina mediante la siguiente fórmula

$$P = K * D^2 \quad (58)$$

Donde:

K = Constante (depende del tipo de material)

D = Diámetro de la bola indentadora en mm

**Tabla 6-3:** Constante K según el tipo de material.

Material	K
Hierro y aceros	30
Cobre, bronce y latón	10
Aleaciones ligeras	5
Estaño y plomo	2,5
Metales muy blandos	1,25 - 0,5

Fuente: (Ingemecanica, 2010)

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

Datos:

Hierros y aceros K = 30

D = 2,5 mm

$$P = 30 * 2,5^2$$

$$P = 187,5 \text{ kp} = 1839 \text{ N}$$

- Para determinar el tiempo durante el cual se aplicó la carga se utiliza la siguiente tabla de referencia.

**Tabla 7-3:** Tiempo t según el tipo de material.

Material	Tiempo t
Hierro y aceros	10 a 30 segundos
Cobre, bronce y latón	30 segundos
Aleaciones ligeras	60 a 120 segundos
Estaño y plomo	120 segundos
Metales muy blandos	120 segundos

Fuente: (Ingemecanica, 2010)

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

En nuestro caso para hierros y aceros se tomó un tiempo de 15 segundos.

- Para proceder a determinar la dureza Brinell se aplica la siguiente fórmula

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (59)$$

Donde:

P = Carga a aplicar para el ensayo en kp (187,5 kp)

D = Diámetro de la bola indentadora en mm (2,5 mm)

d = Diámetro medio de la huella que se genera en la superficie del material en mm

**Tabla 8-3:** Probeta 1 (espesor de 6mm) Acero SAE 1012.

MUESTRAS	d1 (mm)	d2 (mm)	d promedio (mm)	HBW
1	1,25	1,24	1,245	143,789
2	1,24	1,25	1,245	143,789
3	1,23	1,24	1,235	146,306

Fuente: Chango J., Zavala D., 2021.

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

La dureza promedio de entre las tres muestras tomadas para la PROBETA 1 es de:

$$144,628 = \mathbf{145 \text{ HBW } 2,5/187,5/15}$$

**Tabla 9-3:** Probeta 2 (espesor de 8mm) Acero SAE 1012.

MUESTRAS	d1 (mm)	d2 (mm)	d promedio (mm)	HBW
1	1,23	1,22	1,225	148,884
2	1,23	1,24	1,235	146,306
3	1,22	1,23	1,225	148,884

Fuente: Chango J., Zavala D., 2021.

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

La dureza promedio de entre las tres muestras tomadas para la PROBETA 2 es de:

$$148,024 = \mathbf{148 \text{ HBW } 2,5/187,5/15}$$

**Tabla 10-3:** Probeta 3 (Tubo de Fuego) Acero ASTM A53 GrB.

MUESTRAS	d1 (mm)	d2 (mm)	d promedio (mm)	HBW
1	1,29	1,30	1,295	132,061
2	1,31	1,30	1,305	129,874
3	1,32	1,31	1,315	127,736

Fuente: Chango J., Zavala D., 2021.

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

La dureza promedio de entre las tres muestras tomadas para la PROBETA 3 es de:

$$129,89 = \mathbf{130 \text{ HBW } 2,5/187,5/15}$$

**Tabla 11-3:** Materiales a utilizar para la construcción del generador de vapor.

<b>ELEMENTO</b>	<b>MATERIAL SEGÚN CÓDIGO ASME</b>	<b>MATERIAL COMERCIAL</b>	<b>ESPEORES (mm)</b>
Cuerpo	SA-285	SAE 1012	6
Doble Fondo	SA-285	SAE 1012	8
Espejos	SA-285	SAE 1012	8

Fuente: Chango J., Zavala D., 2021.

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.


**Tabla 12-3:** Tuberías para la construcción del generador de vapor.






<b>ELEMENTO</b>	<b>TUBERÍA SEGÚN CÓDIGO ASME</b>	<b>TUBERÍA COMERCIAL</b>	<b>DIÁMETROS (in)</b>
Tubos de Fuego	SA-53	ASTM A53 GrB	1
Cañón	SA-53	ASTM A53 GrB	6
Tubería para accesorios	SA-53	ASTM A53 GrB	1/2
Uniones Roscadas	-	Galvanizado	1/2

Fuente: Chango J., Zavala D., 2021.

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

**Tabla 13-3:** Accesorios para el generador de vapor.

<b>ACCESORIO</b>	<b>FIGURA</b>	<b>CARACTERÍSTICA</b>
Manómetro		<p>Marca: GENE BRE</p> <p>Modelo: 3822N 004</p> <p>1/4" NPT</p> <p>0-4 BAR / 60 PSI</p>
Pressuretrol		<p>Marca: FENSHEN</p> <p>Modelo: PC3-NPT1/4M</p> <p>Rango: -0.5 a 3 bar</p> <p>220V A.C. 16A</p> <p>110V A.C. 24A</p>

Cristal de nivel de agua		<p>Construidos con cristal boro silicato</p> <p>Diámetro de ½ in</p> <p>Presión máxima de trabajo 240 psi</p> <p>Longitud del tubo 72 in (1830 mm)</p>
Válvula de seguridad		<p>La presión de seguridad se calibra mediante un tornillo y se fija con contratuerca</p> <p>Sirve para vapor, aire, agua y cualquier fluido</p> <p>Presión nominal 12 bar</p> <p>Rango de regulación desde 0,5 a 16 bar</p>
Sensor de nivel de agua		Sensor de 2 Niveles
Termostato		<p>Marca: Rainbow</p> <p>Modelo: TS-320SR</p> <p>Rango Temperatura: 50 - 320 °C</p> <p>Material: Acero Inoxidable</p> <p>Longitud de la sonda: 58mm/2,28"</p> <p>Diámetro de la sonda: 5mm/0,2"</p> <p>Voltaje: 110V / 220V</p>
Bomba		<p>Marca: PEDROLLO</p> <p>Modelo: PKm 60</p> <p>Caudal: 5-40 l/min</p> <p>H max: 40 m</p> <p>110 V – 60 Hz</p> <p>P = 0.37 KW – 0.5 HP</p>



<p>Quemador Diésel</p>		<p>Marca: BECKETT          Modelo: AFG          0.5 – 3 GPH          120 V / 60 Hz 5.8 A</p>
------------------------	---	--

Fuente: Chango J., Zavala D., 2021.

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

- Aislantes térmicos


El material que se utilizará como aislante térmico del generador de vapor es la Fibra de Vidrio y en la base del generador de vapor se colocará Cemento Refractario Concrax 1500

- Pintura

El pintado del generador de vapor se realizará con Esmalte Gris Martillado

### 3.3.3. Herramientas y máquinas utilizadas

**Tabla 14-3:** Herramientas y máquinas usadas para la construcción del generador de vapor.

HERRAMIENTAS Y MÁQUINAS	FIGURA	CARACTERÍSTICAS
<p>Cizalla manual con banco (METALLKRAFT)</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para planchas de acero de hasta 1,5 mm de espesor.</li> <li>• Fabricada de hierro fundido</li> <li>• Mesa de trabajo 1300 x 600 mm</li> <li>• Peso neto 435 kg</li> </ul>

<p>Soldadura MIG/MAG Jaguar Sound 2060/D Star (CEBORA)</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alimentación monofásica 230 V/60Hz</li> <li>• Fusibles 20 A</li> <li>• Potencia absorbida 5.7 KVA 60% y 4.1 KVA 100%.</li> <li>• Alambre utilizable 0.6/0.8/1.0/1.2 Al 0.6/0.8/1.0 Fe 0.6/0.8/1.0 Inoxidable</li> </ul>
<p>Plasma Prof 55 (CEBORA)</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alimentación monofásica 230 V/60Hz</li> <li>• Potencia 10 KW</li> <li>• Corte hasta 20 mm de espesor</li> <li>• Longitud de antorcha 4 m</li> <li>• Ciclo de trabajo (10min-40 °C)</li> <li>• Consumo de aire 4.7 Bar</li> </ul>
<p>Amoladora (BOSH)</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 220 Watts de potencia</li> <li>• Velocidad 2800 rpm</li> <li>• Utilizar disco de RPM sobre 8500 rpm</li> </ul>
<p>Roladora para lámina y placa W11- 12X3100</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rodillo superior e inferior giran individualmente o de forma sincrónica</li> <li>• Pre doblado y rolado plancha fina o gruesa.</li> <li>• Capacidad de rolado 12 mm</li> <li>• Ancho de rolado 3100 mm</li> <li>• Material de los rodillos Acero #45</li> <li>• Distancia entre los rodillos inferiores 360 mm</li> </ul>

<p>Taladro de columna de piso de 16- 1/2". (JET)</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de 5/8", 3/4 hp, 16 velocidades</li> <li>• Desplazamiento de husillo 4-3/8</li> <li>• Conicidad del husillo MT-2</li> <li>• Distancia del husillo (max/plg) 29-1/8</li> <li>• Potencia (HP) 3/4</li> <li>• Voltaje 110/ 220</li> </ul>
<p>Tronzadora de metales GCO 14-24 (BOSCH)</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad para tubo redondo a 0° 129 ø mm</li> <li>• Capacidad para perfil rectangular a 0° 100 x 196 mm</li> <li>• Capacidad para perfil en L a 0° 130 x 130 mm</li> <li>• Velocidad de giro 3800 RPM</li> <li>• Diámetro del disco 355 mm/14"</li> <li>• Diámetro interior del disco 25.4 mm</li> <li>• Potencia 2400 W</li> </ul>
<p>Roscadora Compacta modelo -300 (GAMMA)</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motor reversible de 1/2 HP, monofásico, de 50-60 Hz, 110 V, 15 amp.</li> <li>• Portaherramientas con insertos de mordazas oscilantes</li> <li>• Capacidad para tuberías de 1/8"-2" (3 mm-50 mm), 4"-6" (100 mm-150 mm)</li> <li>• Velocidad del eje: 36 RPM</li> </ul>
<p>Taladro de impacto 850W (INGCO)</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Voltaje: 110-120V/60Hz</li> <li>• Potencia de entrada: 850W</li> <li>• Velocidad sin carga: 0-2400rpm</li> <li>• Capacidad de perforación: 1/2</li> </ul>

<p>Compresor (PUSKA)</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad 250 litros</li> <li>• Diámetro de salida ½”</li> <li>• Fuente de alimentación 220 v</li> <li>• Número y config. de pistones 2 en V</li> <li>• Presión de trabajo máx. 175 psi</li> <li>• Presión de trabajo mín. 135 psi</li> <li>• RPM cabezal 1050</li> <li>• Potencia 5,5 HP (3,7 Kw)</li> </ul>
<p>Esmeril SUPER LEMA 1/2cv</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencia: 1/2 cv,</li> <li>• RPM: 2800.</li> <li>• Alimentación (220-240 V / 60 HZ);</li> <li>• Discos abrasivos 150X20X20 mm</li> </ul>

Fuente: Chango J., Zavala D., 2021.

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

### 3.3.4. Pasos seguidos en la construcción del generador de vapor

#### 3.3.4.1. Toma de medidas de los materiales

Luego de haber realizado la selección de materiales y haber corroborado mediante los ensayos de dureza y espectrometría procedemos a la adquisición de los materiales tanto para cuerpo, espejo y tubos de fuego.



Figura 29-3: Plancha de acero SAE 1012.

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.



**Figura 30-3:** Tubería negra para vapor sin costura CEDULA

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

#### 3.3.4.2. Construcción del generador de vapor

- De acuerdo al diseño y dimensiones establecidas procedemos a rolar el cuerpo de la caldera, en una plancha de 6 mm de espesor de acero SAE 1012.



**Figura 31-3:** Rolado del cuerpo.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Luego de haber realizado el proceso de rolar procedemos a unir el cuerpo de la caldera mediante soldadura MIG con un alambre sólido AWS A5.18 ER70S-6 con el cual se realiza la raíz y el acabado del cordón de soldadura



**Figura 32-3:** Soldado del cuerpo.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

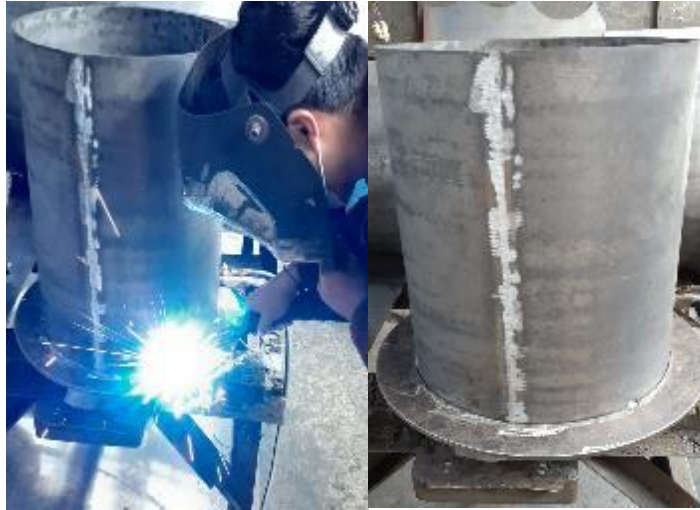
- De la misma manera procedemos a realizar el rolado del doble fondo, en una plancha de 8 mm espesor del material SAE 1012.



**Figura 33-3:** Rolado del doble fondo.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Luego de haber realizado el proceso de rolado procedemos a unir el doble fondo de la caldera mediante soldadura MIG con un alambre sólido AWS A5.18 ER70S-6 con el cual se realiza la raíz y el acabado del cordón de soldadura.



**Figura 34-3:** Soldado del doble fondo.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- A partir de las medidas establecidas en nuestro diseño y luego de haber construido el cuerpo y doble fondo de la caldera realizamos el corte del espejo inferior en una plancha de 8 mm de espesor, con la ayuda del plasma.



**Figura 35-3:** Corte del espejo inferior

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- De igual manera realizamos el proceso anterior para el espejo superior en una plancha de 6 mm de espesor, con la ayuda del plasma



**Figura 36-3:** Corte del espejo superior.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Espejo inferior y superior cortados de 8 mm y 6mm de espesor respectivamente.



**Figura 37-3:** Espejo superior e inferior cortados.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Una vez que hayamos cortados los espejos para mayor facilidad y precisión unimos el espejo superior e inferior para poder señalar los agujeros para tubos de humo y queden centrados correctamente en los dos espejos.



**Figura 38-3:** Centrado del espejo superior e inferior.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.



- Luego de haber centrado los dos espejos mediante puntos de solda, procedemos a realizar una cuadrícula con la ayuda de una escuadra y de un rayador de metal para realizar los 32 agujeros para los tubos de humo



**Figura 39-3:** Cuadrícula para los agujeros de los tubos de humo.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Con la ayuda de una plantilla con un diámetro de 1 plg igual al diámetro del tubo de humo realizamos las circunferencias en cada uno de los cuadros para luego realizar los cortes con la ayuda del plasma.



**Figura 40-3:** Circunferencias para los agujeros de los tubos de humo.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Marcamos con la ayuda de un granete en el contorno de cada una de las circunferencias para proceder a realizar un agujero con el taladro, este agujero servirá como guía ya que nos permitirá de mejor manera cortar con el plasma.



**Figura 41-3:** Guía para el corte con plasma de los agujeros.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Luego de haber realizado el agujero guía cortamos las circunferencias con la ayuda del plasma donde va a ir colocado los tubos de humo.



**Figura 42-3:** Corte con plasma de los agujeros para los tubos de humo.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Como se puede apreciar en la imagen tenemos ya realizado los agujeros en cada uno de los espejos superior e inferior.



**Figura 43-3:** Agujeros para los tubos de humo.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Ya que los espejos estos terminados realizamos el biselado en el contorno del espejo y la parte superior del doble fondo para luego proceder a unir.



**Figura 44-3:** Proceso de biselado.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Realizamos varios puntos de soldadura para ensamblar del espejo con el doble fondo



**Figura 45-3:** Punteado del espejo con el doble fondo.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Se procede a realizar el ensamble final del espejo de 8 mm con el doble fondeo mediante soldadura MIG con alambre sólido AWS A5.18 ER70S-6 con el cual se realizará un cordón de raíz y acabado al mismo tiempo.



**Figura 46-3:** Ensamble del espejo con el doble fondo.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Al igual que los pasos anteriores procedemos a ensamblar el espejo de 6 mm con la parte superior del cuerpo de la caldera de acuerdo a las dimensiones establecidas en el diseño.



**Figura 47-3:** Ensamble del espejo con la parte superior del cuerpo.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Una vez ensamblado los espejos tanto con el cuerpo y el doble fondo de la caldera se procede a unir con mucha precisión estas dos partes mediante soldadura MIG.



**Figura 48-3:** Unión del cuerpo con el doble fondo.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Para proceder a realizar el corte de los tubos de fuego primero realizamos con la ayuda de un flexometro la medición de la longitud que debe tener los mismos.



**Figura 49-3:** Medición de la longitud para los tubos de humo.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Con la ayuda de la tronzadora y de acuerdo a las medidas obtenidas para los tubos de humo procedemos a cortar cada uno de ellos.



**Figura 50-3:** Corte de los tubos de humo.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Ya realizado los cortes de los tubos colocamos los mismo con mucha precisión en cada uno de los agujeros de los espejos y de acuerdo al código ASME 2010 se procede a fijar los tubos mediante soldadura MIG con alambre sólido AWS A5.18 ER70S-6



**Figura 51-3:** Ensamble de los tubos de humo con los espejos.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Una vez terminado el ensamble del cuerpo de caldera colocamos el cañón de fuego en donde va ir colocado el quemador a diésel, esto lo realizamos mediante soldadura MIG con alambre sólido AWS A5.18 ER70S-6



**Figura 52-3:** Colocación del cañón de fuego.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Luego de haber realizado el proceso de soldadura en las diferentes partes del generador de vapor, uno de los pasos importantes que se deben realizar son los ensayos no destructivos que pueden ser mediante la aplicación de tintas penetrantes o el ensayo de burbujeo. Para nuestro caso se realizó el ensayo de burbujeo el cual consiste en colocar una solución de agua con líquido jabonoso sobre las juntas soldadas y luego proceder a aplicar presión con la ayuda de un compresor para verificar la existencia de fugas y luego corregirlas.



**Figura 53-3:** Ensayo de burbujeo.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Prueba Hidrostática, el proceso de la prueba hidrostática es llenar de agua y aire a la caldera a una presión del doble de la presión de trabajo, en este caso la presión de trabajo se estimó los 50 psi entonces la prueba se la realizó a 100 psi, se realiza este tipo de prueba para garantizar la seguridad del generador de vapor de acuerdo al código ASME.



**Figura 54-3:** Prueba Hidrostática.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Una de las partes fundamentales para protección de la base de concreto donde se va a colocar el generador de vapor es la base de la caldera la cual se realiza de cemento refractario Concrax 1500 que servirá como aislante.



**Figura 55-3:** Base de cemento refractario.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Después de haber realizados todos los procesos mencionados anteriormente y cumpliendo las indicaciones del código ASME se obtiene la caldera ensamblada y con sus respectivas bocas que servirá para colocar la instrumentación, para dar mantenimiento, para entrada y salida tanto del agua como del vapor.



**Figura 56-3:** Caldera ensamblada.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Para mayor seguridad del generador de vapor y del usuario principalmente se debe colocar fibra de vidrio alrededor de la caldera como aislante térmico.



**Figura 57-3:** Colocación de la fibra de vidrio.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Como ultima protección y recubrimiento forramos la caldera con tol galvanizado para lo cual se realizará el proceso de remachado para la sujeción del mismo.





**Figura 58-3:** Forrado con tol galvanizado.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Una vez terminado el proceso de aislado y forrado de la caldera procedemos a pintar la misma con esmalte gris martillado.



**Figura 59-3:** Proceso de pintado.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Algo muy importante que debe tener este tipo de generador de vapor es la instrumentación que me permita controlar la presión, temperatura, nivel de agua con lo cual se brindará seguridad al equipo y operador para ello procedemos a la instalación del manómetro, presostato, sensor de nivel de agua, tubo de vidrio para nivel de agua, válvula de seguridad, todo esto estará automatizado mediante un panel de control.



**Figura 60-3:** Instalación de los instrumentos.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Construimos un recipiente de almacenamiento de agua a partir del cual se realizará la alimentación de agua hacia el generador de vapor mediante una bomba de 0.5 HP, este recipiente cuenta con un flotador mecánico de ½" el cual permitirá el control de llenado del recipiente.



**Figura 61-3:** Recipiente de almacenamiento de agua.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- El elemento más importante que le dará la funcionalidad al generador de vapor será el quemador a diésel para lo cual realizamos la respectiva instalación en el cañón de fuego, además se procede a colocar el sistema de alimentación de agua fría.



**Figura 62-3:** Instalación de los instrumentos.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Finalmente se realiza las pruebas de funcionamiento de la caldera, para esto se regula la bomba del quemador a diésel para que la combustión sea la adecuada esto se verifica a través del color del humo que sale de los tubos de fuego, el mismo que debe ser de color claro casi invisible, además se regula la presión de trabajo la cual debe llegar hasta los 40 psi, con el manómetro se calibra la válvula de seguridad la cual se activará en caso que sobrepase la presión de trabajo calibrada y llegue a los 60 psi, de igual manera se verifica que todo el sistema de control funcione correctamente como el sensor de temperatura y de nivel de agua. Esta prueba se le realiza de dos a tres veces hasta conseguir los resultados óptimos para el adecuado funcionamiento del generador de vapor.





**Figura 63-3:** Pruebas de funcionamiento del generador de vapor.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

### **3.4. Diseño y construcción del sistema de baños de cajón**

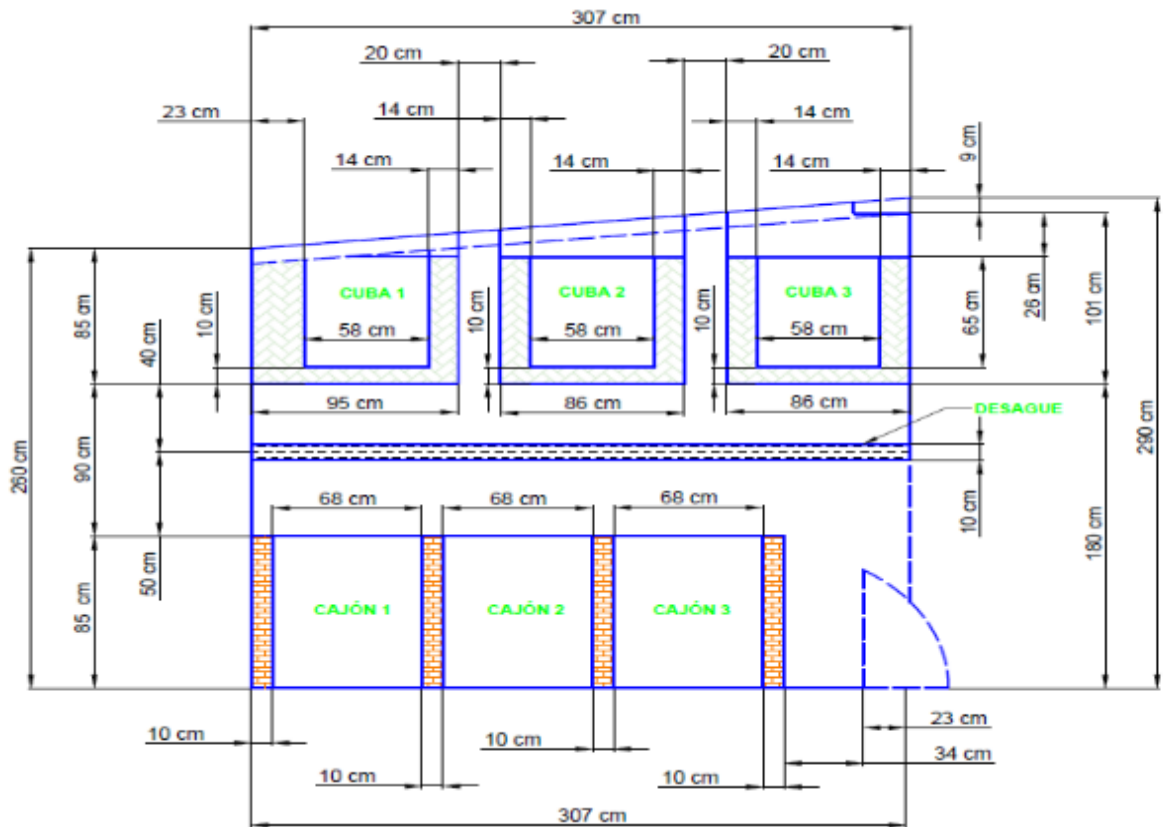
#### **3.4.1. Selección y dimensionamiento del área adecuada para el sistema de baño de cajón**

Según el tema de nuestra investigación el sistema de baños de cajón debe ser instalado en un domicilio para lo cual se procedió a seleccionar el área adecuada, de acuerdo a información recabada se tomó las medidas que debe tener un cajón mixto (concreto - madera) y de igual manera las cubas de agua para tener una correcta distribución del sistema en el área seleccionada.



**Figura 64-3:** Selección del área adecuada.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.



**Figura 65-3:** Plano de construcción del sistema de baños de cajón.

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

### 3.4.2. Materiales para el sistema de baños de cajón

Debido a que los baños de cajón serán de tipo mixto (concreto – madera) se realizará una obra civil y carpintería con materiales usuales en este tipo de construcción como:

- Ladrillo
- Cemento
- Macadán
- Ripio
- Varilla
- Cerámica
- Madera
- Pintura
- Tubería PVC ½"
- Tubería de cobre tipo L de ½"

### **3.4.3. Máquinas y herramientas usadas para la construcción del sistema de baños de cajón.**

Las máquinas y herramientas utilizadas son las más comunes para la construcción civil y carpintería como:

- Martillo
- Cincel
- Nivel
- Flexometro
- Taladro
- Lampa
- Bailejo
- Paleta de madera
- Diana
- Amoladora
- Sierra
- Lija
- Compresor
- Clavos
- Masilla

### **3.4.4. Pasos seguidos en la construcción del sistema de baños de cajón**

- Después de haber determinado el área adecuada para la construcción del sistema de baño de cajón se procede a la limpieza y desalojo de las cosas que se encontraban en el lugar para proceder con la construcción.



**Figura 66-3:** Limpieza y desalojo del área.

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

- Luego de tener adecuado el lugar para la construcción se procede a retirar las baldosas y a picar las paredes en distintas partes para que se pueda colocar de mejor manera el ladrillo

para la construcción de los cajones, además se picó el canal para la tubería de cobre que se usará en la distribución de vapor en cada uno de los cajones.



**Figura 67-3:** Retiro y picado de baldosas para los baños de cajón.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- A continuación procedemos a construir las paredes de ladrillo según las medidas que nos indica la Figura 1-3, para mayor firmeza de la pared se acopla pedazos de varilla



**Figura 68-3:** Construcción de las paredes de los baños de cajón.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Una vez terminado la construcción de las paredes para los cajones y después de que las mismas se hayan secado procedemos con el enlucido en cada una de ellas.



**Figura 69-3:** Enlucido de las paredes de los baños de cajón.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Después de haber finalizado con la construcción de las paredes para los cajones continuamos con la construcción de las cubas de agua para lo cual picamos la baldosa para que tenga más adherencia el ladrillo el momento de la construcción, también se elaboró los canales de desagüe en cada una de las cubas.



**Figura 70-3:** Retiro y picado de baldosas para las cubas de agua fría.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Luego de tener ya picado el lugar donde va a ir las paredes de las cubas de agua procedemos a la construcción de las mismas guiándonos de los planos de construcción.





**Figura 71-3:** Construcción de las cubas de agua fría.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Ya construidas cada una de las cubas de agua se procede con la instalación de la tubería (PVC) y accesorios para el agua fría misma que se usará tanto para la entrada de agua del generador de vapor como para el llenado de cada una de las cubas de agua.



**Figura 72-3:** Instalación de la tubería PVC.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Una vez instalado el sistema de tubería para el llenado de agua fría en las cubas, procedemos a cubrir los canales que fueron elaborados para la colocación de la tubería, también realizamos el enlucido y colocación de cerámica en cada una de las cubas de agua.



**Figura 73-3:** Enlucido y colocación de cerámica.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Como parte del sistema de baños de cajón es necesario la construcción de un canal para recolección y desagüe del agua que se eliminará en cada una de las cubas de agua y de igual manera servirá en el momento que se limpie toda el área donde se encuentra este sistema de baños de cajón.



**Figura 74-3:** Construcción del canal para recolección de agua.

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

- Como otra parte principal en el sistema de baños de cajón tenemos que adecuar el lugar en donde se va a colocar el generador de vapor para ello se procede a elaborar una base de concreto (1.50 m x 1.30 m) en la parte exterior del cuarto donde se encuentra los baños de cajón y cubas de agua para dar mayor seguridad al usuario. Esta base cuenta con un tanque de recolección y enfriamiento del condensado que sale de la purga del generador de vapor.



**Figura 75-3:** Construcción de la base para colocar el generador de vapor.

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

- Algo muy importante en la construcción de estos sistemas es la implementación de un alcantarillado en el cual se recoja el agua que se desaloja de las cubas de agua, cajones y del tanque de recolección del condensado del generador de vapor.



**Figura 76-3:** Construcción del alcantarillado.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Después de haber construido tanto los cajones y las cubas de aguas, así como su respectivo sistema de alcantarillado continuamos con la instalación del sistema de tuberías y accesorios para conducción de vapor para lo cual se usó 12 m de tubería de cobre tipo L de ½ in, esta instalación se realizó para distribución del vapor desde el generador de vapor hacia cada uno de los cajones.



**Figura 77-3:** Tubería y accesorios para vapor.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Para realizar la unión de la tubería y accesorios de cobre se utiliza un tanque de gas de propano, estaño, pasta para soldar y cautín con este proceso se unirá la tubería en cada uno de los tramos necesarios.



**Figura 78-3:** Proceso de unión de la tubería de cobre con los accesorios.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Este proceso de unión se lo realiza fuera del lugar para mayor facilidad y luego se lo procede a colocar en el lugar correspondiente dentro de los canales que se encuentran en cada uno de los cajones.



**Figura 79-3:** Unión del sistema de tubería de cobre.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Teniendo ya unida la tubería de cobre y los accesorios correspondientes procedemos a la instalación en cada uno de los cajones.



**Figura 80-3:** Instalación de la tubería de cobre en los cajones.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Con la instalación lista de la tubería de cobre dentro de los cajones se procede a colocar las puertas de madera en la parte frontal y superior de los cajones.



**Figura 81-3:** Colocación de las puertas de madera.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Una vez concluido la construcción de los cajones y cubas de agua y realizado la instalación de tubería de agua fría para las cubas y tubería de cobre para la distribución de vapor en los cajones, se ha visto necesario la construcción de un cuarto de máquinas a lado del área donde se encuentra los baños de cajón y las cubas de agua, este cuarto será utilizado para la colocación e instalación del generador de vapor.



**Figura 82-3:** Cuarto de Máquinas.

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

### **3.5. Análisis de costos**

En este apartado se indica los gastos económicos que se necesitó para adquirir los materiales, instrumentos, mano de obra, entre otros, para la construcción de un sistema de baños de cajón

#### **3.5.1. Costo directo del generador de vapor**

Son los costos directos que fueron destinados para la construcción del generador de vapor donde se necesitó adquirir diferentes materiales e instrumentos que a continuación se mencionará

3.5.1.1. Materiales e instrumentos

**Tabla 15-3:** Costo de materiales y/o instrumentos para el generador de vapor

<b>Materiales e Instrumentos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario (\$)</b>	<b>Valor total (\$)</b>
Plancha de acero SAE 1012 6 mm x 1.5x 6	u	1	165,40	165,40
Plancha de acero SAE 1012 8 mm x 1.5x 6	u	1	360,52	360,52
Plancha Galvanizada 1.9 mm x 1.21x 2.74	u	1	17,15	17,15
Tubería sin costura ASTM A53 GrB cedula 40 de 1”	m	18	3,70	66.6
Tubería sin costura ASTM A53 GrB cedula 40 de 6”	m	1	14,16	14,16
Tubería galvanizada de ½ ”	m	3	2,20	6,60
Lana de Vidrio (rollo), 50 mm x 3m x 1.2 m	m	3	2,16	6,48
Quemador Diésel BECKETT – AFG 0.5 – 3 GPH -120 V / 60 Hz 5.8 A	u	1	1000,00	1000,00
Manómetro GENEBRE - 3822N 004 - 1/4” NPT - 0-4 BAR / 60 PSI	u	1	25,00	25,00
Bomba PEDROLLO de 0.5 Hp	u	1	85,40	85,40
Válvula de seguridad GENEBRE	u	1	35,80	35,80
Pressuretrol FENSHEN -0.5 a 3 bar	u	1	25,30	25,30

Sensor de nivel de agua	u	1	13,50	13,50
Cristal de nivel de agua	u	1	7,00	7,00
Flotador de nivel de agua de 1/2	u	1	11,50	11,50
Tablero de control y accesorios	u	1	90,00	90,00
Uniones Universales galvanizada de 1/2"	u	2	1,25	2.50
TEE galvanizada 1/2"	u	8	0,75	6,00
Llave de paso de 1/2" esfera	u	4	9,00	36,00
Codos galvanizada 1/2"	u	5	0,50	2,50
Pernos acero al carbono 1/2"	Kg	2	3,40	6.80
Válvula check columpio 1/2"	u	2	2,25	4,50
Recipiente de 5 gl	u	1	6,50	6,50
Manguera para diésel y gasolina SAE 100 R6 5/16" – DN 8	m	3	3.20	9.60
Filtro YNY Genuine Parts	u	1	15,00	15,00
Chimenea de 4.5 metros de altura en acero brillante de 0.4 mm de espesor	u	1	100,00	100,00
			<b>Subtotal 1</b>	<b>2034,31</b>

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

### 3.5.1.2. Costo de mano de obra

El costo de mano de obra es la cancelación al ingeniero quien nos facilitó el taller, máquinas y herramientas y nos ayudó en la construcción del generador de vapor.

**Tabla 16-3:** Costo de mano de obra para el generador de vapor

Descripción	Días - Hombre	\$ / día	Valor total (\$)
Mano de obra	12	70,00	840,00
		<b>Subtotal 2</b>	<b>840,00</b>

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

### 3.5.2. Costo directo de los baños de cajón y cubas de agua

Son los costos directos que fueron destinados para la construcción de los baños de cajón y cubas de agua donde se necesitó adquirir diferentes materiales que a continuación se mencionará

#### 3.5.2.1. Materiales

**Tabla 17-3:** Costo de materiales y/o componentes para los baños de cajón y cubas de agua

Materiales	Unidad	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
Ladrillo	u	600	0.11	66,00
Cemento 50 Kg	u	5	7,75	38,75
Cerámica	m	8	7,00	56,00
Macadan	m <sup>3</sup>	3	20	60,00
Pintura Viniltex Anti Humedad	lt	5	6,00	30,00
Tubería PVC ½"	m	12	0.50	6,00
Tubería de cobre Tipo L ½"	m	12	1.60	19,2
Codos de cobre ½"	u	17	0,70	11,90
TEE de cobre ½"	u	3	0,80	2,40
Codos PVC 2"	u	3	1,25	3,75
Tubería PVC 4"	m	6	2,25	13,50
Unión Universal PVC ½"	u	2	0,50	1,00



Madera Pino	u	3	200,00	600,00
Pletinas de 3 x 25	m	4	1,10	4,40
			<b>Subtotal 3</b>	<b>825,8</b>

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

### 3.5.2.2. Costo de mano de obra

El costo de mano de obra es la cancelación al técnico que realizó la construcción del sistema de baños de cajón y cubas de agua

**Tabla 18-3:** Costo de mano de obra para la construcción del sistema de baños de cajón y cubas de agua

Descripción	Días - Hombre	\$ / día	Valor total (\$)
Mano de obra	13	25	325,00
			<b>Subtotal 4</b>
			<b>325,00</b>

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

### 3.5.3. Costo indirecto

Para el costo indirecto se considera el tiempo empleado y el transporte para dirigirnos al lugar donde se construyó el generador de vapor y al domicilio donde se construyeron los baños de cajón y cubas de agua.

**Tabla 19-3:** Costo indirecto.

Descripción	Valor total (\$)
Transporte	60,00
Utilidad	0
<b>Total</b>	<b>60,00</b>

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

### 3.5.4. Costo total

El costo total es la suma de los subtotales tanto de la construcción del generador de vapor, baños de cajón y cubas de agua con la suma de los costos directos

**Tabla 20-3:** Costo total.

<b>Costo</b>		<b>Valor (\$)</b>
Directo (Generador de Vapor)	Subtotal 1	2034,31
	Subtotal 2	840,00
	<b>Total 1</b>	<b>2874.31</b>
Directo (Baños de cajón y cubas de agua)	Subtotal 3	825,8
	Subtotal 4	325,00
	<b>Total 2</b>	<b>1150,8</b>
Indirecto	<b>Total 3</b>	<b>60,00</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>4085,11</b>

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

## CAPÍTULO IV

### 4. INSTALACIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 4.1. Instalación del sistema de baños de cajón

En este apartado se hablará de la instalación de todo el sistema de baños de cajón que comprende desde la colocación del generador de vapor en el cuarto de máquinas hasta la instalación de los cajones y cubas de agua.

- Lo primero que se hizo fue colocar el generador de vapor en el cuarto de máquinas, luego se instaló la tubería PVC de  $\frac{1}{2}$ " para alimentación de agua al generador de vapor y a las cubas de agua y la tubería de cobre de  $\frac{1}{2}$ " para distribución de vapor hacia los cajones, además se instaló tubería galvanizada de  $\frac{1}{2}$ " para la salida del condensado desde la purga del generador de vapor y de los instrumentos de control de presión hacia el tanque de recolección y enfriamiento del condensado.



**Figura 1-4:** Colocación del generador de vapor e Instalación en el cuarto de máquinas.

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

- Se colocó el quemador a diésel en el generador de vapor y se instaló la fuente de alimentación eléctrica de 110 V para energizar el quemador y la caja de control del generador de vapor.



**Figura 2-4:** Colocación del quemador a diésel e instalación eléctrica de la caja de control

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

- Se instaló el sistema de alimentación del combustible (diésel) hacia el quemador que está colocado en el generador de vapor. Este sistema cuenta con un tanque plástico de 5 galones, un filtro para diésel y una manguera Diésel-Gasolina SA 100 R6 5/16"- DN 8.



**Figura 3-4:** Instalación del sistema de alimentación del combustible (diésel).

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021

- Se instaló el sistema de alimentación de agua, para esto se utilizó tubería PVC de 1/2" desde la red de agua fría hacia el tanque de almacenamiento de agua, además se energizó la bomba de 0.5 HP con la cual se suministrará el agua al generador de vapor.



**Figura 4-4:** Instalación del sistema de alimentación de agua

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021

- También se instaló la chimenea para salida de los gases producto de la combustión desde el generador de vapor hacia el ambiente, esta chimenea tiene una altura de 4 m y se construyó con acero brillante de 0.4 mm de espesor.



**Figura 5-4:** Instalación de la chimenea

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021

- Como parte final de la instalación se verificó que los baños de cajón y cubas de agua estén conectadas a la tubería de vapor que sale del generador de vapor y a la red de agua fría respectivamente



**Figura 6-4:** Verificación de las instalaciones

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021

#### 4.1.1. *Lista de chequeo de requerimientos*

Se debe realizar una lista de chequeo antes de arrancar el generador de vapor, con esta lista verificaremos que todas las instalaciones y requerimientos del sistema estén a punto para dar funcionamiento al sistema de baños de cajón.

**Tabla 1-4:** Lista de chequeo

DESCRIPCIÓN	CHEQUEO	NOTAS
Seleccionar un espacio adecuado para la instalación.	X	
Ubicación del generador de vapor en el sitio seleccionado.	X	
Verificar las conexiones de salida de vapor y de entrada de agua	X	
Verificar instrumentos conectados.	X	
Verificar que haya agua en el recipiente de almacenamiento de agua.	X	
Verificar que haya diésel en el tanque de alimentación de combustible.	X	
Instalación de la chimenea	X	

Energizar la caja de control	X	
Mirar que este en buen estado el cristal de nivel de agua.	X	
Observar que las purgas estén conectadas hacia la descarga de condensado	X	
Verificar que los agujeros en las tuberías de los cajones estén destapados	X	
Verificar que exista alimentación de agua en las cubas de agua fría	X	

**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021.

## 4.2. Pruebas de funcionamiento

### 4.2.1. Arranque y parada del sistema de baños de cajón

#### 4.2.1.1. Puesta en marcha

Para realizar el arranque del generador de vapor y dar funcionamiento al sistema de baños de cajón se debe seguir las siguientes recomendaciones:

- a) Verificar que haya alimentación de energía eléctrica en la caja de control, para ello deberá estar encendido el foco verde (energizado).
- b) Abrir la llave de paso de agua para que el recipiente de almacenamiento de agua se llene y mediante la bomba de 0.5 HP se pueda alimentar de agua al generador de vapor.
- c) Verificar que el tanque de almacenamiento de combustible tenga la suficiente cantidad de diésel para alimentar el quemador.
- d) Abrir la llave de paso de diésel para purgar el filtro y el quemador.
- e) Para el primer arranque se debe regular la entrada de aire al quemador hasta que la salida de los gases producto de la combustión tenga una apariencia casi invisible, en el caso de que los gases tengan un color oscuro se debe aumentar la entrada de aire en el quemador.
- f) En el caso de que se quedara sin diésel hay que abrir el purgador de la bomba del quemador y del filtro para purgar, esto se deberá realizar con el quemador prendido girando la perilla del quemador hacia posición de encendido en el tablero de control, con este proceso se podrá desprender el aire y espuma hasta que salga diésel.
- g) Antes del primer arranque hay que abrir la llave de aireación que se encuentra en la parte inferior del manómetro y presostato. Esta llave además se usará cuando haya un exceso de agua en el caldero y para realizar la limpieza de la línea de control de presión (manómetro y

presostato), este proceso se lo realiza abriendo la llave de aireación conjuntamente con una purga después de que el equipo se haya apagado y se lo quiera hacer funcionar nuevamente.

h) Para dar arranque al generador de vapor la perilla del tablero de la bomba de agua debe estar en AUTO con lo que estaremos asegurando que si es bajo el nivel de agua automáticamente la bomba se encenderá y la perilla del quemador hacia posición de ENCENDIDO.

i) El generador de vapor, tomará un tiempo de 30 a 40 minutos en producir vapor.

j) Una vez que haya pasado ese tiempo se verificará en el manómetro que la presión empieza a subir hasta los 40 psi que es la presión de trabajo, una vez que llegue a dicha presión el quemador se va a apagar, con lo que se obtiene vapor en el interior del generador de vapor, si la presión disminuye a los 30 psi el quemador nuevamente se prenderá, en el caso de que existiera algún fallo en el presostato y se exceda la presión hasta los 55 psi la válvula de seguridad se activará.

k) Una vez que se verifica que existe vapor en el generador, se abre la llave de paso para que alimente el vapor a los tres cajones.

l) Para utilizar el baño de cajón se debe abrir la llave de paso que se encuentra instalada en cada uno de ellos, hasta que la temperatura y cantidad de vapor sea de confort del usuario.

#### *4.2.1.2. Fuera de servicio*

a) Se debe apagar el generador de vapor para ello se baja los breakers de la caja de control del generador de vapor y de la caja térmica.

b) Eliminar todo el vapor que se encuentra en el sistema de baños de cajón.

c) Dejar purgado el generador de vapor mediante la purga media la cual limpia el control de nivel y la purga baja que saca los lodos del fondo.

d) Finalmente se debe cerrar todas las llaves de paso tanto del sistema de alimentación de agua, combustible, salida de vapor y purgas.

### **4.3. Señalética del sistema de baño de cajón**

#### **4.3.1. Cuarto de máquinas**

Luego de haber realizado la instalación y pruebas de funcionamiento del sistema de baños de cajón se procedió a identificar cada una de las partes que conforman el generador de vapor y a su vez colocar la señalética respectiva para mayor seguridad del operario.



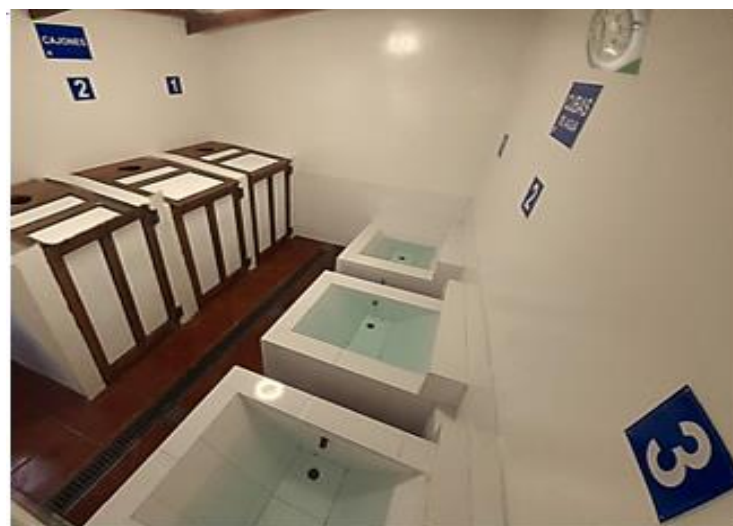


**Figura 7-4:** Señalética cuarto de máquinas

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021

#### **4.3.2. Cuarto de baños de cajón**

Dela misma manera que en el cuarto de máquinas se procedió a colocar la señalética respectiva en el cuarto donde están los baños de cajón para brindar así un espacio de confort y seguridad al usuario.



**Figura 8-4:** Señalética cuarto de baños de cajón

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021

#### 4.4. Resultados

##### 4.4.1. Ficha técnica del generador de vapor

**Tabla 2-4:** Ficha técnica

CARACTERÍSTICA	VALOR	UNIDAD
Presión Máx. de trabajo	40	psi
Presión Mín. de trabajo	30	psi
Presión de seguridad	55	psi
Temperatura Máx.	150	°C
Temperatura Mín.	100	°C
Potencia	1.5	BHP
Combustible	Diésel	-
Consumo combustible (40 min)	1.46	Lt
Eficiencia	72	%
Volumen de agua	73	Lt
Quemador	0.5	GPH
Bomba	0.5	HP
Voltaje	110	V
Amperaje	10	A
Peso con agua	570	Kg
Peso sin agua	500	Kg

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

##### 4.4.2. Parámetros de funcionamiento del sistema de baños de cajón

###### 4.4.2.1. Instrumentos para la toma de datos

Para la toma de datos de los parámetros de funcionamiento del sistema baños de cajón se utilizaron los siguientes instrumentos de los cuales la termocupla y el termo-higrómetro fueron facilitados por la Facultad de Mecánica de la ESPOCH.

**Tabla 3-4:** Instrumentos para la toma de datos

PARÁMETRO	INSTRUMENTO	CARACTERÍSTICA
Tiempo	Cronómetro Digital	Rango: 24 horas Resolución: 1/100 de segundo en los primeros 30 segundos y 1 segundo después de 30 segundos

		<p>Precisión: 0.1%</p> <p>Tamaño: 2-1/8" diámetro x 5/8"</p> <p>Peso: 7/8 onza</p>
Consumo de combustible	Caneca con regleta de medida	Capacidad: 5 galones
Temperatura	Termocupla Cole Parmer	<p>Tipo K</p> <p>Máx. temperatura 1372 °C</p> <p>Mín. temperatura -250 °C</p> <p>Precisión por debajo de -99,0 ° C / ° F ± 0,25% de la lectura más 1 ° C (2 ° F); por encima de -99,9 ° C / ° F ± 0,2% de la lectura más 0,5 ° C (0,9 ° F).</p> <p>Resolución 0,1 ° entre -99,9 ° y 299,9 °; 1 ° por debajo de -99,9 ° y por encima de 299,9 °</p>
Humedad	Termo-higrómetro	<p>Rango de medición de temperatura de 0 ° C hasta +50 ° C</p> <p>Rango de medición de humedad 25% RH a 95% RH</p> <p>Precisión: ± 5% de HR</p> <p>Resolución: 1% de HR</p>
Presión	Manómetro	<p>Marca: GENE BRE</p> <p>Modelo: 3822N 004</p> <p>1/4" NPT</p> <p>0-4 BAR / 60 PSI</p>

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

#### 4.4.2.2. Parámetros de funcionamiento del generador de vapor


Con la ayuda de los instrumentos antes mencionados y a través de fichas de recolección de datos obtuvimos los valores de los parámetros de funcionamiento como consumo de combustible, presión y régimen de trabajo del generador de vapor.



**Figura 9-4:** Toma de parámetros del generador de vapor

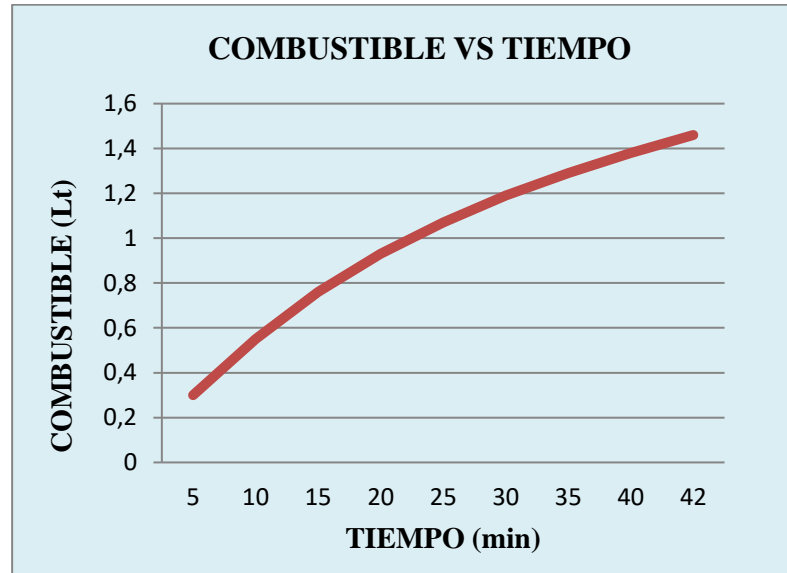
**Realizado por:** Chango J., Zavala D., 2021

**Tabla 4-4:** Consumo Combustible Vs. Tiempo

<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>			
<b>Equipo:</b>	Generador de vapor		
<b>Parámetros:</b>	Consumo Combustible Vs. Tiempo		
<b>Fecha:</b>	06/03/2021		
<b>DATOS</b>	<b>COMBUSTIBLE (Lt)</b>	<b>TIEMPO (Min)</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
1	0,3	5	
2	0,55	10	
3	0,76	15	
4	0,93	20	
5	1,07	25	

6	1,19	30	
7	1,29	35	
8	1,38	40	
9	1,46	42	
<b>TOTAL</b>	<b>1,46</b>		


Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.



**Gráfico 1-4:** Consumo de Combustible Vs. Tiempo

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

**Tabla 5-4:** Presión Vs. Tiempo

<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>			
<b>Equipo:</b>	Generador de vapor		
<b>Parámetros:</b>	Presión Vs. Tiempo		
<b>Fecha:</b>	06/03/2021		
<b>DATOS</b>	<b>PRESIÓN (Psi)</b>	<b>TIEMPO (Min)</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
1	0	5	
2	2	10	
3	5	15	
4	9	20	

5	12,5	25	
6	17	30	
7	24	35	
8	32	40	
9	<b>40</b>	<b>42</b>	

Fuente: Chango J, Zavala D, 2021.

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

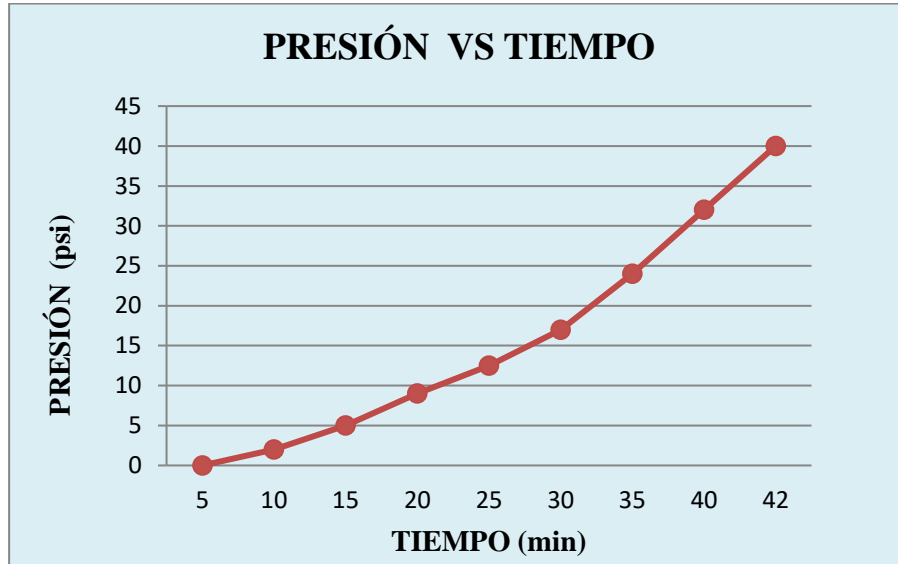


Gráfico 2-4: Presión Vs. Tiempo

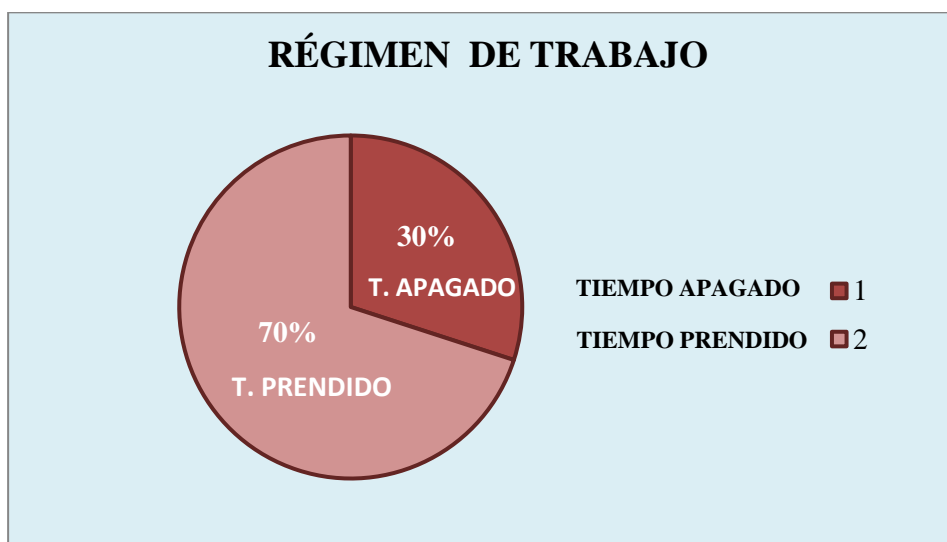
Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

Tabla 6-4: Régimen de trabajo del generador de vapor

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
<b>Equipo:</b>	Generador de vapor		<p>Cronómetro</p> <p>05:08.34</p>
<b>Parámetros:</b>	Régimen de trabajo		
<b>Fecha:</b>	06/03/2021		
<b>DATOS</b>	<b>TIEMPO PRENDIDO (min)</b>	<b>TIEMPO APAGADO (min)</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
1	15	5	
2	11	4	
3	12	4	

4	15	5	
5	11	7	
6	10	4	
7	13	4	
8	11	6	
9	11	5	
10	13	7	
11	10	5	
12	14	4	
13	13	6	
14	11	5	
15	12	7	
16	11	4	
17	12	4	
18	13	5	
19	12	5	
20	10	4	
21	13	7	
22	11	5	
23	11	6	
24	10	4	
25	15	5	
26	12	4	
27	13	7	
28	11	6	
<b>TIEMPO TOTAL</b>	<b>336</b>	<b>144</b>	<b>480 min = 8 horas</b>

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.




**Gráfico 3-4:** Porcentajes del régimen de trabajo del generador de vapor



4.4.2.3. *Parámetros de funcionamiento de los baños de cajón*

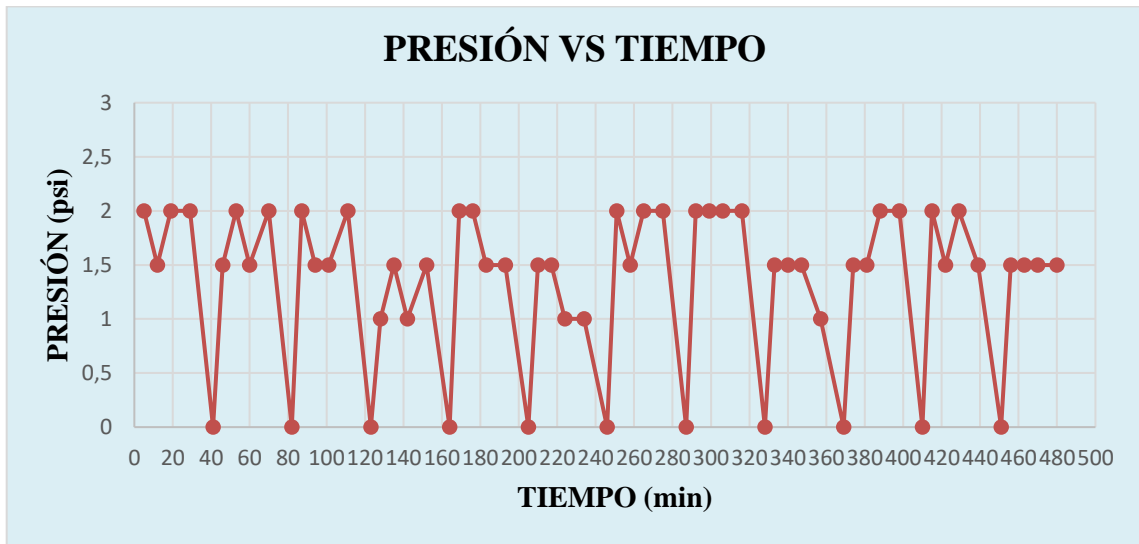
También se tomaron los parámetros de funcionamiento de los baños de cajón como la presión, temperatura y humedad, los mismos se presentan a continuación:

**Tabla 7-4:** Presión Vs. Tiempo

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS							
<b>Equipo:</b>	Baños de Cajón						
<b>Parámetros:</b>	Presión Vs. Tiempo						
<b>Fecha:</b>	06/03/2021						
DATOS	PRESIÓN N (Psi)	TIEMPO (Min)	OBSERV.	DATOS	PRESIÓN (Psi)	TIEMPO (Min)	OBSERV.
<b>SESIÓN 1</b>				<b>SESIÓN 7</b>			
1	2	5		1	2	251	
2	1,5	12		2	1,5	258	
3	2	19		3	2	265	
4	2	29		4	2	275	
<b>SESIÓN 2</b>				<b>SESIÓN 8</b>			
1	1,5	46		1	2	292	
2	2	53		2	2	299	
3	1,5	60		3	2	306	
4	2	70		4	2	316	
<b>SESIÓN 3</b>				<b>SESIÓN 9</b>			
1	2	87		1	1,5	333	
2	1,5	94		2	1,5	340	
3	1,5	101		3	1,5	347	
4	2	111		4	1	357	
<b>SESIÓN 4</b>				<b>SESIÓN 10</b>			
1	1	128		1	1,5	374	
2	1,5	135		2	1,5	381	
3	1	142		3	2	388	
4	1,5	152		4	2	398	
<b>SESIÓN 5</b>				<b>SESIÓN 11</b>			
1	2	169		1	2	415	
2	2	176		2	1,5	422	

3	1,5	183		3	2	429	
4	1,5	193		4	1,5	439	
<b>SESIÓN 6</b>				<b>SESIÓN 12</b>			
1	1,5	210		1	1,5	456	
2	1,5	217		2	1,5	463	
3	1	224		3	1,5	470	
4	1	234		4	1,5	480	

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.



**Gráfico 4-4:** Presión Vs Tiempo


Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

**Tabla 8-4:** Estadísticos descriptivos: Presión

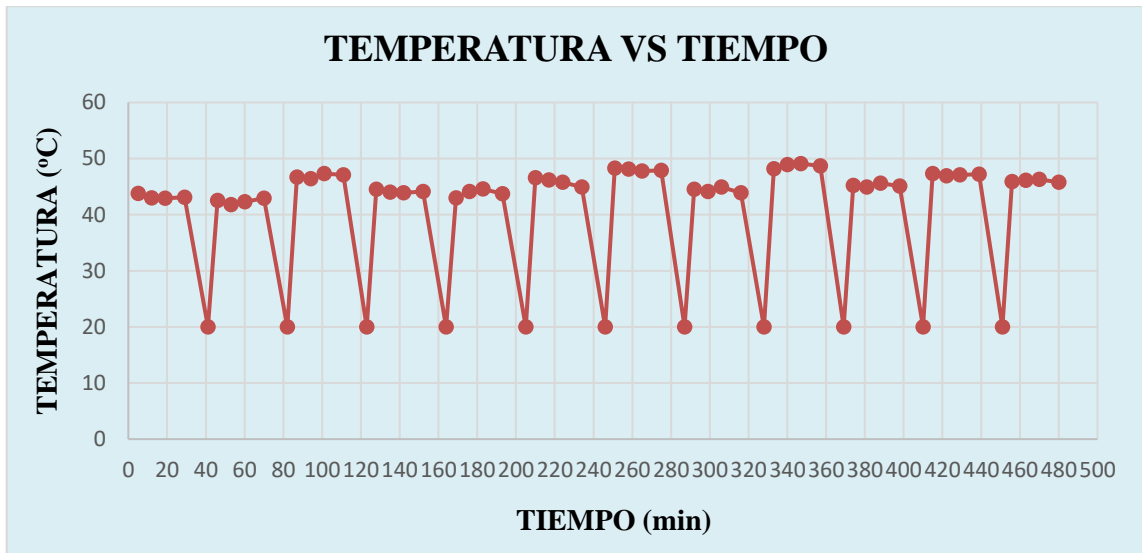
<b>Estadísticos Descriptivos: Presión</b>	
<b>Estadísticas</b>	<b>Valor</b>
Media	1,6563
Desviación Estándar	0,3287
Mínimo	1
Máximo	2

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

**Tabla 9-4:** Temperatura Vs. Tiempo

<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>							
<b>Equipo:</b>	Baños de Cajón						
<b>Parámetros:</b>	Temperatura Vs. Tiempo						
<b>Fecha:</b>	06/03/2021						
DATOS	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (Min)	OBSERV.	DATOS	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (Min)	OBSERV.
<b>SESIÓN 1</b>				<b>SESIÓN 7</b>			
1	43,8	5		1	48,3	251	
2	43	12		2	48,1	258	
3	42,9	19		3	47,8	265	
4	43,1	29		4	47,9	275	
<b>SESIÓN 2</b>				<b>SESIÓN 8</b>			
1	42,5	46		1	44,5	292	
2	41,8	53		2	44,1	299	
3	42,3	60		3	44,9	306	
4	42,9	70		4	43,9	316	
<b>SESIÓN 3</b>				<b>SESIÓN 9</b>			
1	46,7	87		1	48,2	333	
2	46,4	94		2	48,9	340	
3	47,3	101		3	49,1	347	
4	47,1	111		4	48,7	357	
<b>SESIÓN 4</b>				<b>SESIÓN 10</b>			
1	44,5	128		1	45,2	374	
2	44	135		2	44,9	381	
3	43,9	142		3	45,6	388	
4	44,1	152		4	45,1	398	
<b>SESIÓN 5</b>				<b>SESIÓN 11</b>			
1	43	169		1	47,3	415	
2	44,1	176		2	46,9	422	
3	44,6	183		3	47,1	429	
4	43,7	193		4	47,2	439	
<b>SESIÓN 6</b>				<b>SESIÓN 12</b>			
1	46,6	210		1	45,9	456	
2	46,2	217		2	46,1	463	
3	45,8	224		3	46,3	470	
4	44,9	234		4	45,8	480	

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.



**Gráfico 5-4:** Temperatura Vs Tiempo

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

**Tabla 10-4:** Estadísticos descriptivos: Temperatura

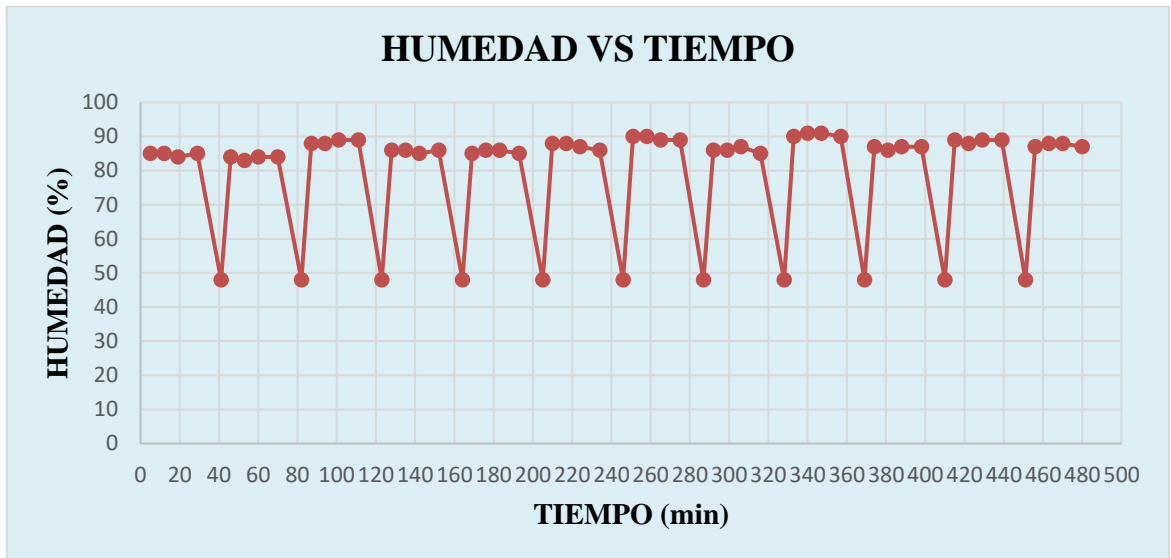
Estadísticos Descriptivos: Temperatura	
Estadísticas	Valor
Media	45,479
Desviación Estándar	1,944
Mínimo	41,8
Máximo	49,1

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

**Tabla 11-4:** Humedad Vs Tiempo

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS							
<b>Equipo:</b>	Baños de Cajón						
<b>Parámetros:</b>	Humedad Vs. Tiempo						
<b>Fecha:</b>	06/03/2021						
DATOS	HUMEDAD (%)	TIEMPO (Min)	OBSERV.	DATOS	HUMEDAD (%)	TIEMPO (Min)	OBSERV.
<b>SESIÓN 1</b>				<b>SESIÓN 7</b>			
1	85	5		1	90	251	
2	85	12		2	90	258	
3	84	19		3	89	265	
4	85	29		4	89	275	
<b>SESIÓN 2</b>				<b>SESIÓN 8</b>			
1	84	46		1	86	292	
2	83	53		2	86	299	
3	84	60		3	87	306	
4	84	70		4	85	316	
<b>SESIÓN 3</b>				<b>SESIÓN 9</b>			
1	88	87		1	90	333	
2	88	94		2	91	340	
3	89	101		3	91	347	
4	89	111		4	90	357	
<b>SESIÓN 4</b>				<b>SESIÓN 10</b>			
1	86	128		1	87	374	
2	86	135		2	86	381	
3	85	142		3	87	388	
4	86	152		4	87	398	
<b>SESIÓN 5</b>				<b>SESIÓN 11</b>			
1	85	169		1	89	415	
2	86	176		2	88	422	
3	86	183		3	89	429	
4	85	193		4	89	439	
<b>SESIÓN 6</b>				<b>SESIÓN 12</b>			
1	88	210		1	87	456	
2	88	217		2	88	463	
3	87	224		3	88	470	
4	86	234		4	87	480	

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.



**Gráfico 6-4:** Humedad Vs Tiempo

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

**Tabla 12-4.** Estadísticos descriptivos: Humedad

Estadísticos Descriptivos: Humedad	
Estadísticas	Valor
Media	87,042
Desviación Estándar	2,021
Mínimo	83
Máximo	91

Realizado por: Chango J., Zavala D., 2021.

## CONCLUSIONES

- Mediante revisión bibliográfica se determinó los parámetros de temperatura de 30 – 60 °C, la humedad relativa de 80 – 100% dentro del cajón y de igual manera la presión de trabajo para generadores de vapor de baja presión hasta 56 o 71 psi.
- Con los parámetros conocidos y en base al código ASME 2010 para Calderas y Recipientes a Presión, Sección I Reglas para la Construcción de Calderas de Potencia se realizó el diseño térmico y mecánico del generador de vapor a diésel.
- En base al código ASME 2010 se determinó los materiales adecuados para el cuerpo, espejos, tubos de humo y cañón, de la misma manera se seleccionó los instrumentos adecuados para el control y manejo del generador de vapor que conjuntamente con el diseño se procedió a construir.
- Se seleccionó el área adecuada en el domicilio teniendo en consideración que ese lugar sea óptimo para la construcción e instalación del sistema de baños de cajón es decir que sea de fácil acceso para el usuario y cuente con los servicios básicos para este sistema como agua, energía eléctrica y alcantarillado.
- El área optima que se seleccionó para la construcción e instalación del sistema fue en un cuarto de bodega que se encuentra ubicado en el patio del domicilio, una vez seleccionada el área se realizó el dimensionamiento para una adecuada distribución de los cajones y cubas de agua.
- Ya culminado la construcción del sistema de baños de cajón se instaló el generador de vapor con su sistema de alimentación de agua, combustible, la línea de suministro de vapor hacia los cajones y su respectiva señalética.
- Finalmente se realizó pruebas de funcionamiento del sistema, donde se corroboró los parámetros de funcionamiento que se mencionaron inicialmente, obteniendo una temperatura promedio de 45,479 °C y humedad relativa de 87,042 % dentro del cajón, presión de ingreso hacia los cajones de 1,6563 psi, además el generador cumple un régimen de trabajo del 70% (prendido) y 30% (apagado) con ciertas características como, potencia de 1.5 BHP, consumo de combustible de 1,46 lt hasta alcanzar la presión de trabajo de 40 psi y una eficiencia de 72%.

## RECOMENDACIONES

- Con la ayuda de un equipo de trabajo multidisciplinario (Ing. Mecánico – Médico) establecer rutinas adecuadas para realizar los baños de cajón en niños, adolescentes, adultos y adultos mayores.
- Realizar un estudio de los diferentes anti incrustantes que se utilicen para la protección del generador de vapor, además identificar cual es el más apto según la toxicidad y contaminación que provocan al vapor y que en un futuro pueda afectar al usuario.
- Para mejorar la calidad del agua que ingresa al generador de vapor como otra alternativa de cuidado del mismo, se recomienda usar un equipo ablandador de agua.
- Se recomienda para este tipo de sistemas de combustión a diésel usar un analizador de emisiones para controlar de mejor manera la combustión que genera el equipo y el impacto ambiental que se produce debido a estos gases.



## GLOSARIO

**Baños de cajón:** es una de las variaciones de los baños de vapor, suele ser un ambiente más cerrado por una cabina de madera que da mayor calidez (Cevallos, 2012).

**Caldera pirotubular:** es un tipo de caldera en la que los gases de combustión procedentes del fogón pasan a través de varios tubos que cruzan un cilindro sellado que contiene agua. El calor se transfiere por conducción térmica, calentando el agua y creando vapor (Lifschitz, 2005).

**Convección:** Se produce por una traslación de las partículas, en el interior del fluido, debido a las diferencias de densidad. El calor se transfiere entre dos sustancias líquidas, entre dos sustancias gaseosas o un gas y un líquido (Cengel, 2008).

**Cubas de agua:** lugar donde se almacena permanente o temporalmente de agua (Cevallos, 2012).

**Entalpía:** es la cantidad de energía que un sistema termodinámico intercambia con su medio ambiente en condiciones de presión constante, es decir, la cantidad de energía que el sistema absorbe o libera a su entorno en procesos en los que la presión no cambia (Cengel, 2008).

**Entropía:** Magnitud termodinámica que indica el grado de desorden molecular de un sistema (Cengel, 2008).

**Generador de vapor:** es una máquina o dispositivo de ingeniería, donde la energía química contenida en un combustible, se transforma en energía térmica (Abarca, 2015)

**Presostato:** es un instrumento que abre o cierra un circuito eléctrico, en función del cambio de un valor de presión prefijado (INTI, 2015).

**Purgas:** eliminación de una acumulación de sustancias inertes o indeseables que de otra manera se acumularían en el flujo de recirculación (Abarca, 2015).

**Radiación:** es un tipo de transferencia de calor, asociada a la emisión de calor de cuerpos en función de la temperatura en la que se encuentren (Cengel, 2008).

**Termostato:** es un aparato o dispositivo que, conectado a una fuente de calor, sirve para regular la temperatura de manera automática, impidiendo que suba o baje del grado adecuado (Thermic, 1998).

## BIBLIOGRAFÍA

**ABARCA, Pedro.** *Descripción de Calderas y Generadores de Vapor* [blog]. 2015. [Consulta: 28 de enero de 2021]. Disponible en: <https://www.achs.cl/portal/trabajadores/Capacitacion/CentrodeFichas/Documents/descripcion-de-caldera-y-generadores-de-vapor.pdf>.

**ACHARAN, Manuel.** *Medicina Natural al Alcance de Todos*. Mexico-Mexico D.F: Pax Mexico, 1997, p. 162.

**AGUALUZ.** *Ablandador de Agua para Calderas* [blog]. 2018. [Consulta: 30 de enero de 2021]. Disponible en: <https://equipososmosisinversa.com/ablandador-de-agua-para-calderas/>.

**AHUILA, Seduco.** *Tecnicas de registro* [blog]. 2010. [Consulta: 30 de enero de 2021]. Disponible en: [https://www.seducoahuila.gob.mx/fortalecimiento/fortalecimientoacademico/assets/tecnicas\\_de\\_registro-\(1\).pdf](https://www.seducoahuila.gob.mx/fortalecimiento/fortalecimientoacademico/assets/tecnicas_de_registro-(1).pdf).

**ARIAS LOMAS, Alex Marcelo.** Automatización del proceso de funcionamiento de un baño de cajón. (Trabajo de titulación) (Pregrado), Universidad Técnica del Norte, Imbabura, Ecuador. 2007.

**CODIGO ASME.** *Reglas para la construccion de calderas de potencia* . New York: The American Society of Mechanical Engineers, 2010.

**AWS B4.0. 2016.** *Standard Methods for Mechanical Testing of Welds*. 2016.

**AZOLA, Frank.** *Operacion de calderas manuales y diagramas* [blog]. 2016. [Consulta: 30 de enero de 2021]. Disponible en: [https://www.academia.edu/9520944/Operacion\\_de\\_calderas\\_manualesydiagramas\\_blogspot\\_com](https://www.academia.edu/9520944/Operacion_de_calderas_manualesydiagramas_blogspot_com).

**BARRERA, Cristina.** *Aspectos basicos relacionados con el funcionamiento de una caldera*. 2010.

**BUDYNAS, Richard & NISBETT, Keith.** *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México, D.F: McGraw-Hill, 2008.

**CACME.** *Guía de Eficiencia Energética en Sistemas de vapor* [blog]. 2010. [Consulta: 30 de enero de 2021]. Disponible en: [https://eficienciaenergetica.net.ar/img\\_publicaciones/05271415\\_GuiaSistemasdevaporFINAL1.pdf](https://eficienciaenergetica.net.ar/img_publicaciones/05271415_GuiaSistemasdevaporFINAL1.pdf).

**CEVALLOS, Angelica.** Estudio de factibilidad para la creación de un centro estético que ofrezca servicios de baños de cajón en la parroquia de San Antonio. (Trabajo de titulación) (Pregrado), Universidad Técnica del Norte, Imbabura, Ecuador. 2007.

**CROW et al.,** *Condensing Steam*. 3ª ed. Plant Engineer's Reference Book, 2007.

**CONSUMER.** *Así afecta el coronavirus a los pulmones* [blog]. 2010. [Consulta: 30 de enero de 2021]. Disponible en: <https://www.consumer.es/salud/problemas-de-salud/coronavirus-asi-afecta-pulmones.html>.

**CORDOVA, Roberth y LARREÁTEGUI, José.** Diseño y construcción de un caldero de 7.5. (Trabajo de titulación) (Pregrado), Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador. 2011.

**DELSOL.** Muestreo probabilístico o no probabilístico [blog]. 2010. [Consulta: 30 de enero de 2021]. Disponible en: <https://www.sdelosol.com/glosario/muestreo-probabilistico-o-no/#:~:text=A%20diferencia%20del%20anterior%2C%20el,por%20ejemplo%2C%20si%20que%20remos%20estudiar.>

**DIPAC.** *Catálogos de Productos* [blog]. 2016. [Consulta: 10 febrero de 2021]. Disponible en: <http://www.dipacmanta.com/planchas-de-acero/planchas-laminadas-en-caliente>.

**Einsten, D; et al.** *Steam systems in industry: Energy use and energy efficiency improvement potentials*. 2011

**ESQUIVEL, Ricardo.** *Procesos de soldadura: MIG, TIG, SMAW, PAC, SAW, TÁNDEM y rayo láser* [blog]. 2016. [Consulta: 10 febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.revista.ferrepat.com/herramientas/procesos-de-soldadura-mig-tig-smaw-pac-saw-tandem-y-rayo-laser/>.

**FEANDALUCIA.** *Ensayos no destructivos en la soldadura* [blog]. 2017. [Consulta: 10 febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8259.pdf>.

**FERNANDEZ, Elizabeth.** *Generadores de Vapor* [blog]. 2016. [Consulta: 10 febrero de 2021]. Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/3406349/>.

**GIRON, Agresio.** *Calderas de Vapor* [blog]. 2010. [Consulta: 10 febrero de 2021]. Disponible en: <http://lasmaquinasindustriales.blogspot.com/2010/11/calderas-de-vapor.html>.

**GONZÁLEZ, Magdalena.** *Diferencias y usos de la Tubería de Acero Negro y Galvanizado* [blog]. 2010. [Consulta: 10 febrero de 2021]. Disponible en: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/tuber%C3%ADa-de-acero>.

**HAMROCK, J; et al.** *Elementos de máquinas*. México D. F: McGraw-Hill, 2000.

**HANDBOOK ASTM.** *Metallography and Microstructures*. 1985

**HERNANDEZ, F & BAUTISTA, M.** *Metodología de la investigación*. 6ª ed. Mexico: McGraw-Hill, 2014, p. 4.

**HSCO.** *Tubo de acero negro sin costura* [blog]. 2017. [Consulta: 10 febrero de 2021]. Disponible en: [https://www.hu-steel.com/es/news361\\_807.html](https://www.hu-steel.com/es/news361_807.html).

**HURTADO, Jacqueline.** *Metodología de la investigación holística*. Caracas: Sypal, 2000.

**INGEMECANICA.** *Ensayos de Dureza en los Materiales* [blog]. 2015. [Consulta: 10 febrero de 2021]. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn218.html>.

**JARAMILLO, Ramiro.** Diseño y construcción de un sistema de vapor a gas para baño turco y para baño sauna en la Universidad Nacional de Loja. (Trabajo de titulación) (Pregrado), Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador. 2014.

**LA HORA.** *Baños de cajón, una medicina alternativa ancestral* [blog]. 2016. [Consulta: 02 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://lahora.com.ec/noticia/1102212456/banos-de-cajon-una-medicina-alternativa-ancestral>

**LAPIDO, Margarita.** *Funcionamiento y pérdidas en calderas pirotubulares estudios de casos* [blog]. 2015. [Consulta: 02 de febrero de 2021]. Disponible en: [https://universosur.ucf.edu.cu/files/Func\\_y\\_perdidas\\_en\\_calderas\\_pirotubulares.pdf](https://universosur.ucf.edu.cu/files/Func_y_perdidas_en_calderas_pirotubulares.pdf).

**LIFSCHITZ, Edgardo.** *Conceptos y control básico de calderas* [blog]. 2005. [Consulta: 02 de febrero de 2021]. Disponible en: [https://www.aadeca.org/pdf/CP\\_monografias/Cuaderno\\_profesional\\_02.pdf](https://www.aadeca.org/pdf/CP_monografias/Cuaderno_profesional_02.pdf).

**LOMAS, Alex.** Automatización del proceso de funcionamiento de un baño de cajón. (Trabajo de titulación) (Pregrado), Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador. 2019.

**LORCA, Juan.** *Soldadura por arco manual o eléctrico* [blog]. 2015. [Consulta: 02 de febrero de 2021]. Disponible en: <http://www.mailxmail.com/curso-soldadura-arco-manual-electrico-fundamentos/posicion-soldadura-tipos-soldaduras>.

**LOYOLA, Eduardo.** *Modelo Matemático para Diseño Térmico de Calderas Pirotubulares Horizontales empleando el Método de la Temperatura Media Radiante; y Diseño Mecánico empleando Código ASME* [blog]. 2015. [Consulta: 02 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/89474/D-79935.pdf>.

**MORENO, Jenny.** *Caldera para baño sauna*. 2009

**MOOT, R.** *Diseño de elementos de máquinas*. México : Pearson Educación, 2006.

**OCTAL.** *ASTM A53 Especificación de Tubería* [blog]. 2018. [Consulta: 05 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.octalacero.com/astm-a53>.

**OLIVARES, Oscar.** *Diseño de calderas industriales*. 2010

**PEDROLLO.** *Que bomba elegir* [blog]. 2010. [Consulta: 05 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://pedrollo.com.ec/que-bomba-elegir/>.

**R.C.HIBBELER.** *Mecánica de Materiales*. Mexico D.F: Pearson Education, 2006.

**SARCO, Spirax.** *Purgas de Caldera* [blog]. 2010. [Consulta: 05 de febrero de 2021]. Disponible en: [https://firq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/7169/mod\\_resource/content/1/Purgas%20en%20la%20caldera.pdf](https://firq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/7169/mod_resource/content/1/Purgas%20en%20la%20caldera.pdf).

**SERVITEC.** *Transmisión de calor en calderas pirotubulares* [blog]. 2010. [Consulta: 04 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.calderasvapor.com/transmision-de-calor-en-calderas-pirotubulares/>.

**SINDES.** *Pruebas de fuga (LT)* [blog]. 2015. [Consulta: 08 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://sindes.com/pruebas-de-fuga/#:~:text=La%20prueba%20de%20fuga%20mediante,de%20vac%C3%ADo%20para%20su%20monitorizaci%C3%B3n..>

**VELÁSQUEZ CEDEÑO, Ángel Martin.** *Análisis de Calderas para Generación de Energía Eléctrica*. 2014.

**YANUS, A. C.** *Termodinámica*. 12a ed. México DF – México: McGraw-Hill, 2012.

**YANUS, A. C.** *Transferencia de Calor y Masa*. 3a ed. México DF – México: McGraw-Hill, 2007. ISBN- 13: 978-970-10-6173-2. pp. 511, 860,884.

## ANEXOS

### ANEXO A: PLAN DE MANTENIMIENTO

A continuación se presenta un plan de mantenimiento para el sistema de baños de cajón ya sea diario, semanal, mensual y anual, esto permitirá dar mayor vida al sistema, evitar disminuir la eficiencia del generador de vapor e identificar algún daño en el equipo.

ACTIVIDAD	FRECUENCIA				OBSERVACIÓN
	Diario	Semanal	Mensual	Anual	
Observar las posición de las válvulas	X	X	X	X	
Verificar los instrumentos	X	X	X	X	
Verificar que no exista fugas en las tuberías de alimentación de agua y salida de vapor		X	X	X	
Observar que exista combustible suficiente en el reservorio	X	X	X	X	
Verificar que exista agua en el recipiente de almacenamiento	X	X	X	X	
Identificar que no exista fugas en el ducto de salida de los gases (chimenea)		X	X	X	
Verificar los pernos o uniones que no estén con corrosión			X	X	
Abrir las bocas de mantenimiento para sacar los lodos y lavar la caldera				X	
Limpiar el cristal de nivel de agua			X	X	
Abrir la llave de la purga media y baja para limpiar el control de nivel y sacar los lodos del generador de vapor respectivamente.	X	X	X	X	

Abrir la llave de aireación para airear el caldero y realizar una limpieza de la línea de control de presión	X	X	X	X	
Limpiar los agujeros de los baños de cajón			X	X	
Limpiar los cajones y las cubas de agua	X	X	X	X	
Limpiar los desagües y el tanque de descarga de condensado			X	X	
Realizar un tratamiento químico al caldero para prolongarle la vida				X	

## ANEXO B: GUÍA DE SOLUCIÓN DE PROBLEMAS OPERATIVOS

Para poder solucionar ciertos problemas que se nos pueden presentar en el generador de vapor se presenta a continuación una tabla en la cual especificaremos el problema y la solución que se le debe dar al mismo.

PROBLEMA	CAUSA PROBABLE	POSIBLE SOLUCIÓN
Sensor de nivel de agua	Se daña por subida o bajada de tensión brusca	Colocar breakers en la caja de control
	Por mala calidad de agua	Realizar un tratamiento químico
Remordimiento de la bomba	Falta de uso	Mover el eje manualmente hasta que empiece a girar el rotor
No arranca el quemador	Falta de cantidad de diésel	Revisar el tanque de almacenamiento de combustible
	Ingreso de aire en la bomba del quemador y filtro de diésel	Purgar el filtro de diésel y el quemador hasta que salga diésel y no aire o burbujas
	Bajo nivel de agua en el tanque de almacenamiento	Verificar el recipiente de almacenamiento de agua o la bomba
Se ahoga el caldero	Carga de hollín por la cantidad de impurezas	Realizar mantenimiento en la chimenea
Fugas de agua en las conexiones del cuerpo	Desgaste en los empaque o uniones de las conexiones	Revisar las diferentes conexiones
Baja Vida Útil	Incrustaciones en las tuberías del sistema, corrosión, arrastres y daños a los tubos de humo	Realizar un mantenimiento adecuado del generador de vapor y realizar un tratamiento químico al agua u ocupar un ablandador
Desbordamiento del nivel de agua	Daño del sensor de nivel	Cambiar el sensor
	Límite de llenado incorrecto	Ajustar niveles de llenado



ANEXO C: PROPIEDADES DEL AIRE A LA PRESIÓN DE 1 ATM

**TABLA A-15**

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-6}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-6}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-6}$	$1.189 \times 10^{-6}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-5}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	$1.356 \times 10^{-5}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	$1.465 \times 10^{-5}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	$1.578 \times 10^{-5}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	$2.416 \times 10^{-5}$	$1.941 \times 10^{-5}$	$1.750 \times 10^{-5}$	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	$2.487 \times 10^{-5}$	$1.963 \times 10^{-5}$	$1.798 \times 10^{-5}$	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	$2.632 \times 10^{-5}$	$2.008 \times 10^{-5}$	$1.896 \times 10^{-5}$	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	$2.780 \times 10^{-5}$	$2.052 \times 10^{-5}$	$1.995 \times 10^{-5}$	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	$2.931 \times 10^{-5}$	$2.096 \times 10^{-5}$	$2.097 \times 10^{-5}$	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	$3.086 \times 10^{-5}$	$2.139 \times 10^{-5}$	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	$3.243 \times 10^{-5}$	$2.181 \times 10^{-5}$	$2.306 \times 10^{-5}$	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	$3.565 \times 10^{-5}$	$2.264 \times 10^{-5}$	$2.522 \times 10^{-5}$	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	$3.898 \times 10^{-5}$	$2.345 \times 10^{-5}$	$2.745 \times 10^{-5}$	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	$4.241 \times 10^{-5}$	$2.420 \times 10^{-5}$	$2.975 \times 10^{-5}$	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	$4.593 \times 10^{-5}$	$2.504 \times 10^{-5}$	$3.212 \times 10^{-5}$	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	$4.954 \times 10^{-5}$	$2.577 \times 10^{-5}$	$3.455 \times 10^{-5}$	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	$5.890 \times 10^{-5}$	$2.760 \times 10^{-5}$	$4.091 \times 10^{-5}$	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	$6.871 \times 10^{-5}$	$2.934 \times 10^{-5}$	$4.765 \times 10^{-5}$	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	$7.892 \times 10^{-5}$	$3.101 \times 10^{-5}$	$5.475 \times 10^{-5}$	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	$8.951 \times 10^{-5}$	$3.261 \times 10^{-5}$	$6.219 \times 10^{-5}$	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	$1.004 \times 10^{-4}$	$3.415 \times 10^{-5}$	$6.997 \times 10^{-5}$	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	$1.117 \times 10^{-4}$	$3.563 \times 10^{-5}$	$7.806 \times 10^{-5}$	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	$1.352 \times 10^{-4}$	$3.846 \times 10^{-5}$	$9.515 \times 10^{-5}$	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	$1.598 \times 10^{-4}$	$4.111 \times 10^{-5}$	$1.133 \times 10^{-4}$	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	$1.855 \times 10^{-4}$	$4.362 \times 10^{-5}$	$1.326 \times 10^{-4}$	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	$2.122 \times 10^{-4}$	$4.600 \times 10^{-5}$	$1.529 \times 10^{-4}$	0.7206
1 000	0.2772	1184	0.07868	$2.398 \times 10^{-4}$	$4.826 \times 10^{-5}$	$1.741 \times 10^{-4}$	0.7260
1 500	0.1990	1234	0.09599	$3.908 \times 10^{-4}$	$5.817 \times 10^{-5}$	$2.922 \times 10^{-4}$	0.7478
2 000	0.1553	1264	0.11113	$5.664 \times 10^{-4}$	$6.630 \times 10^{-5}$	$4.270 \times 10^{-4}$	0.7539

ANEXO D: AGUA SATURADA. TABLA DE PRESIONES

**TABLA A-5**

Agua saturada. Tabla de presiones

Pres., P kPa	Temp. sat., $T_{sat}$ °C	Volumen específico, $m^3/kg$		Energía interna, $kJ/kg$			Entalpía, $kJ/kg$			Entropía, $kJ/kg \cdot K$		
		Líqu. sat., $v_f$	Vapor sat., $v_g$	Líqu. sat., $u_f$	Evap., $u_{fg}$	Vapor sat., $u_g$	Líqu. sat., $h_f$	Evap., $h_{fg}$	Vapor sat., $h_g$	Líqu. sat., $s_f$	Evap., $s_{fg}$	Vapor sat., $s_g$
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7	0.1956	8.6314	8.8270
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9	0.2606	8.4621	8.7227
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4	0.3118	8.3302	8.6421
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2222	8.5765
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9073
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5	0.8932	6.9370	7.8302
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6	0.9441	6.8234	7.7675
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1	1.0261	6.6430	7.6691
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2	1.0912	6.5019	7.5931
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9	1.3741	5.9100	7.2841
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7894	7.2231
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	2524.5	487.01	2213.1	2700.2	1.4850	5.6865	7.1716
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	2529.1	504.71	2201.6	2706.3	1.5302	5.5968	7.1270
225	123.97	0.001064	0.79329	520.47	2012.7	2533.2	520.71	2191.0	2711.7	1.5706	5.5171	7.0877
250	127.41	0.001067	0.71873	535.08	2001.8	2536.8	535.35	2181.2	2716.5	1.6072	5.4453	7.0525
275	130.58	0.001070	0.65732	548.57	1991.6	2540.1	548.86	2172.0	2720.9	1.6408	5.3800	7.0207
300	133.52	0.001073	0.60582	561.11	1982.1	2543.2	561.43	2163.5	2724.9	1.6717	5.3200	6.9917
325	136.27	0.001076	0.56199	572.84	1973.1	2545.9	573.19	2155.4	2728.6	1.7005	5.2645	6.9650
350	138.86	0.001079	0.52422	583.89	1964.6	2548.5	584.26	2147.7	2732.0	1.7274	5.2128	6.9402
375	141.30	0.001081	0.49133	594.32	1956.6	2550.9	594.73	2140.4	2735.1	1.7526	5.1645	6.9171
400	143.61	0.001084	0.46242	604.22	1948.9	2553.1	604.66	2133.4	2738.1	1.7765	5.1191	6.8955
450	147.90	0.001088	0.41392	622.65	1934.5	2557.1	623.14	2120.3	2743.4	1.8205	5.0356	6.8561
500	151.83	0.001093	0.37483	639.54	1921.2	2560.7	640.09	2108.0	2748.1	1.8604	4.9603	6.8207
550	155.46	0.001097	0.34261	655.16	1908.8	2563.9	655.77	2096.6	2752.4	1.8970	4.8916	6.7886
600	158.83	0.001101	0.31560	669.72	1897.1	2566.8	670.38	2085.8	2756.2	1.9308	4.8285	6.7593
650	161.98	0.001104	0.29260	683.37	1886.1	2569.4	684.08	2075.5	2759.6	1.9623	4.7699	6.7322
700	164.95	0.001108	0.27278	696.23	1875.6	2571.8	697.00	2065.8	2762.8	1.9918	4.7153	6.7071
750	167.75	0.001111	0.25552	708.40	1865.6	2574.0	709.24	2056.4	2765.7	2.0195	4.6642	6.6837

## ANEXO E: PROPIEDADES DEL AGUA SATURADA

**TABLA A-9**

Propiedades del agua saturada

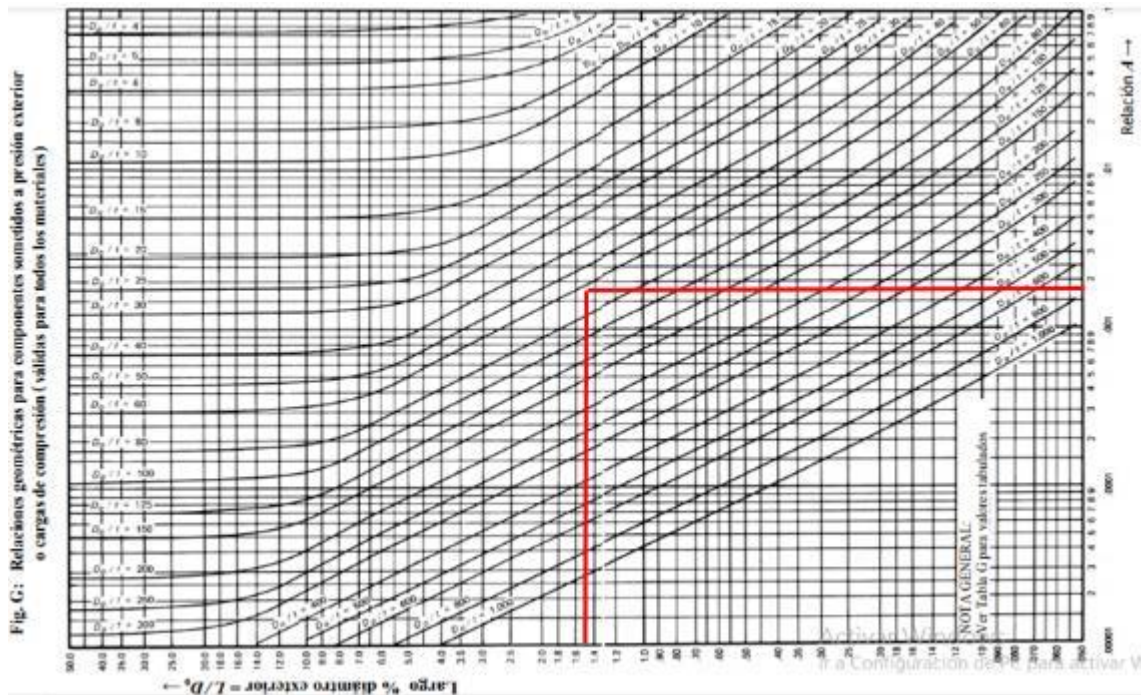
Temp., T °C	Presión de saturación, P <sub>sat</sub> , kPa	Densidad, ρ kg/m <sup>3</sup>		Entalpia de vaporización, h <sub>g</sub> , kJ/kg	Calor específico, c <sub>p</sub> , J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792 × 10 <sup>-3</sup>	0.922 × 10 <sup>-5</sup>	13.5	1.00	-0.068 × 10 <sup>-3</sup>
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519 × 10 <sup>-3</sup>	0.934 × 10 <sup>-5</sup>	11.2	1.00	0.015 × 10 <sup>-3</sup>
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307 × 10 <sup>-3</sup>	0.946 × 10 <sup>-5</sup>	9.45	1.00	0.733 × 10 <sup>-3</sup>
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 185	1 863	0.589	0.0179	1.138 × 10 <sup>-3</sup>	0.959 × 10 <sup>-5</sup>	8.09	1.00	0.138 × 10 <sup>-3</sup>
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002 × 10 <sup>-3</sup>	0.973 × 10 <sup>-5</sup>	7.01	1.00	0.195 × 10 <sup>-3</sup>
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891 × 10 <sup>-3</sup>	0.987 × 10 <sup>-5</sup>	6.14	1.00	0.247 × 10 <sup>-3</sup>
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798 × 10 <sup>-3</sup>	1.001 × 10 <sup>-5</sup>	5.42	1.00	0.294 × 10 <sup>-3</sup>
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720 × 10 <sup>-3</sup>	1.016 × 10 <sup>-5</sup>	4.83	1.00	0.337 × 10 <sup>-3</sup>
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653 × 10 <sup>-3</sup>	1.031 × 10 <sup>-5</sup>	4.32	1.00	0.377 × 10 <sup>-3</sup>
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596 × 10 <sup>-3</sup>	1.046 × 10 <sup>-5</sup>	3.91	1.00	0.415 × 10 <sup>-3</sup>
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547 × 10 <sup>-3</sup>	1.062 × 10 <sup>-5</sup>	3.55	1.00	0.451 × 10 <sup>-3</sup>
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504 × 10 <sup>-3</sup>	1.077 × 10 <sup>-5</sup>	3.25	1.00	0.484 × 10 <sup>-3</sup>
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467 × 10 <sup>-3</sup>	1.093 × 10 <sup>-5</sup>	2.99	1.00	0.517 × 10 <sup>-3</sup>
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433 × 10 <sup>-3</sup>	1.110 × 10 <sup>-5</sup>	2.75	1.00	0.548 × 10 <sup>-3</sup>
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404 × 10 <sup>-3</sup>	1.126 × 10 <sup>-5</sup>	2.55	1.00	0.578 × 10 <sup>-3</sup>
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378 × 10 <sup>-3</sup>	1.142 × 10 <sup>-5</sup>	2.38	1.00	0.607 × 10 <sup>-3</sup>
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355 × 10 <sup>-3</sup>	1.159 × 10 <sup>-5</sup>	2.22	1.00	0.653 × 10 <sup>-3</sup>
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333 × 10 <sup>-3</sup>	1.176 × 10 <sup>-5</sup>	2.08	1.00	0.670 × 10 <sup>-3</sup>
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315 × 10 <sup>-3</sup>	1.193 × 10 <sup>-5</sup>	1.96	1.00	0.702 × 10 <sup>-3</sup>
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297 × 10 <sup>-3</sup>	1.210 × 10 <sup>-5</sup>	1.85	1.00	0.716 × 10 <sup>-3</sup>
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282 × 10 <sup>-3</sup>	1.227 × 10 <sup>-5</sup>	1.75	1.00	0.750 × 10 <sup>-3</sup>
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255 × 10 <sup>-3</sup>	1.261 × 10 <sup>-5</sup>	1.58	1.00	0.798 × 10 <sup>-3</sup>
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232 × 10 <sup>-3</sup>	1.296 × 10 <sup>-5</sup>	1.44	1.00	0.858 × 10 <sup>-3</sup>
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213 × 10 <sup>-3</sup>	1.330 × 10 <sup>-5</sup>	1.33	1.01	0.913 × 10 <sup>-3</sup>
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197 × 10 <sup>-3</sup>	1.365 × 10 <sup>-5</sup>	1.24	1.02	0.970 × 10 <sup>-3</sup>
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183 × 10 <sup>-3</sup>	1.399 × 10 <sup>-5</sup>	1.16	1.02	1.025 × 10 <sup>-3</sup>
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170 × 10 <sup>-3</sup>	1.434 × 10 <sup>-5</sup>	1.09	1.05	1.145 × 10 <sup>-3</sup>
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160 × 10 <sup>-3</sup>	1.468 × 10 <sup>-5</sup>	1.03	1.05	1.178 × 10 <sup>-3</sup>
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150 × 10 <sup>-3</sup>	1.502 × 10 <sup>-5</sup>	0.983	1.07	1.210 × 10 <sup>-3</sup>
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142 × 10 <sup>-3</sup>	1.537 × 10 <sup>-5</sup>	0.947	1.09	1.280 × 10 <sup>-3</sup>
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134 × 10 <sup>-3</sup>	1.571 × 10 <sup>-5</sup>	0.910	1.11	1.350 × 10 <sup>-3</sup>
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122 × 10 <sup>-3</sup>	1.641 × 10 <sup>-5</sup>	0.865	1.15	1.520 × 10 <sup>-3</sup>
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111 × 10 <sup>-3</sup>	1.712 × 10 <sup>-5</sup>	0.836	1.24	1.720 × 10 <sup>-3</sup>
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102 × 10 <sup>-3</sup>	1.788 × 10 <sup>-5</sup>	0.832	1.35	2.000 × 10 <sup>-3</sup>
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094 × 10 <sup>-3</sup>	1.870 × 10 <sup>-5</sup>	0.854	1.49	2.380 × 10 <sup>-3</sup>
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086 × 10 <sup>-3</sup>	1.965 × 10 <sup>-5</sup>	0.902	1.69	2.950 × 10 <sup>-3</sup>
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078 × 10 <sup>-3</sup>	2.084 × 10 <sup>-5</sup>	1.00	1.97	—
340	14 586	610.5	92.62	1 028	8 240	11 870	0.469	0.110	0.070 × 10 <sup>-3</sup>	2.255 × 10 <sup>-5</sup>	1.23	2.43	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	25 800	0.427	0.178	0.060 × 10 <sup>-3</sup>	2.571 × 10 <sup>-5</sup>	2.06	3.73	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043 × 10 <sup>-3</sup>	4.313 × 10 <sup>-5</sup>	—	—	—

ANEXO F: SECCIÓN II PARTE D CÓDIGO ASME (TABLA DE ESFUERZOS)

Renglón N°	Forma del producto <sup>(2)</sup>	Denominación	Tipo Grado Clase	Grupo N°	Tensión de rotura MPa	Tensión de fluencia MPa	Máxima tensión admisible (MPa), en función de la temperatura en °C												
							-30 a 40	65	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
1	Placa	SA-283	C	1	380	205	108	108	108	108	108	108	107	101	...	...	...	...	...
2	Placa	SA-285	C	1	380	205	108	108	108	108	108	108	107	101	89,1	62,6	31,6	...	...
3	Placa	SA-515	60	1	415	220	118	118	118	118	118	118	115	108	88,9	62,7	31,6	12,7	...
4	Placa	SA-515	65	1	450	240	128	128	128	128	128	128	125	118	95	63,2	31,7	12,7	...
5	Placa	SA-515	70	2	485	260	138	138	138	138	138	138	136	128	101	67,1	33,6	12,9	...
6	Placa	SA-516	55	1	380	205	108	108	108	108	108	108	107	101	89,1	62,6	31,6	12,7	...
7	Placa	SA-516	60	1	415	220	118	118	118	118	118	118	115	108	88,9	62,7	31,6	12,7	...
8	Placa	SA-516	65	1	450	240	128	128	128	128	128	128	125	118	95	63,2	31,7	12,7	...
9	Placa	SA-516	70	2	485	260	138	138	138	138	138	138	136	128	101	67,1	33,6	12,9	...
10	Accesorios <sup>(1)</sup>	SA-234	WPB	1	415	240	118	118	118	118	118	118	118	117	88,9	62,7	31,6	12,7	...
11	Forjado	SA-105	...	2	485	250	138	138	138	138	138	136	129	122	101	67	33,6	12,9	...
12	Forjado	SA-181	60	1	415	205	118	118	118	118	118	114	107	101	89,1	62,6	31,6	12,7	...
13	Forjado	SA-350	LF1	1	415	205	118	118	118	118	118	114	107	101	89,1	62,6	31,6	12,7	...
14	Forjado	SA-350	LF2	2	485	250	138	138	138	138	138	136	129	122	101	67	33,6	12,9	...
15	Caño soldado	SA-53	E/B	1	415	240	118	118	118	118	118	118	117	117	88,9	62,7	31,6	...	...
16	Caño sin costura	SA-106	B	1	415	240	118	118	118	118	118	118	118	117	88,9	62,7	31,6	12,7	...
17	Perno <sup>(2)</sup>	SA-193	B7	...	690	515	130	130	130	130	130	130	130	130	130	115	68,4	18,9	...
18	Tuerca	SA-194	H2	...	1206	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
19	Perno	SA-307	B	...	415	...	48,3	48,3	48,3	48,3	48,3	48,3	...	...	...	...	...	...	...
20	Placa, lámina	SA-36	...	1	400	250	114	114	114	114	114	114	114	114	...	...	...	...	...
21	Barra	SA-36	...	1	400	250	114	114	114	114	114	114	114	114	114	88,9	62,6	28,2	...

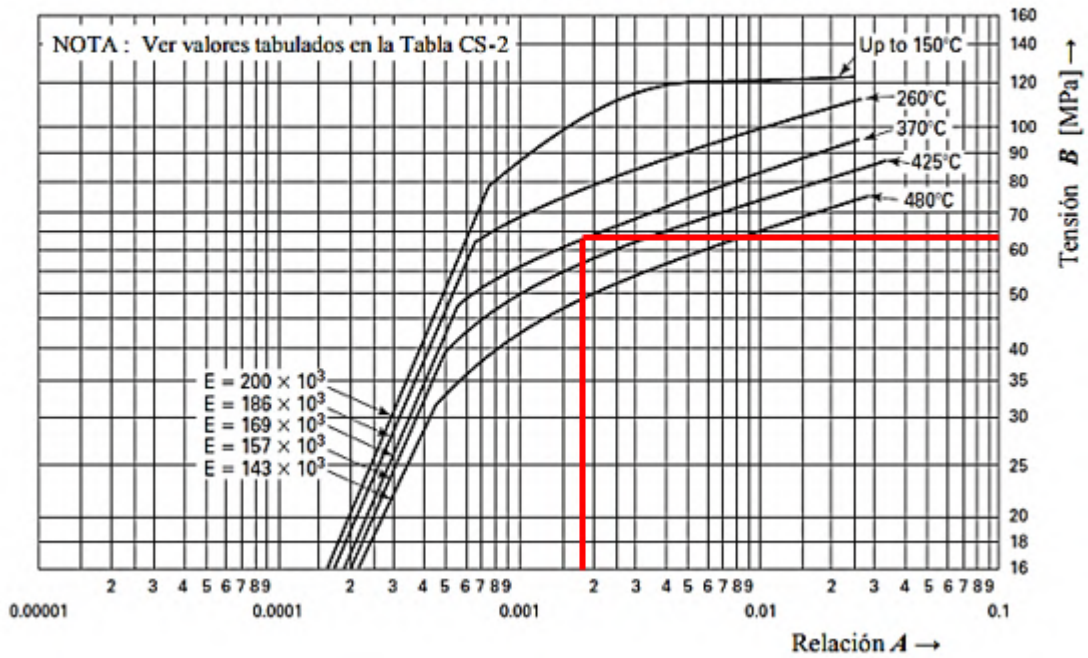
(1) Accesorios soldados o sin costura. (2) En todos los renglones el materia es acero al carbono excepto el renglón 17 que es una aleación 1Cr-1/2Mo

ANEXO G: RELACIONES GEOMÉTRICAS PARA COMPONENTES SOMETIDOS A PRESIÓN EXTERIOR O CARGAS DE COMPRESIÓN

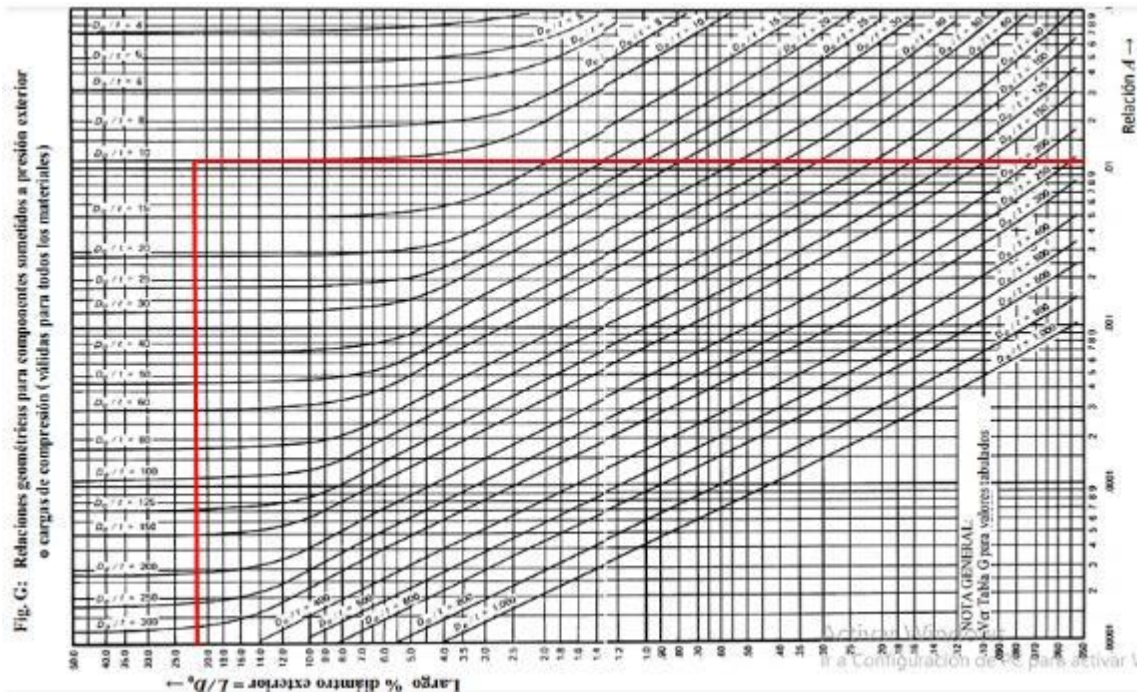


**ANEXO H: GRÁFICO PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE COMPONENTES SOMETIDOS A PRESIÓN**

**Fig. CS-2 Gráfico para determinar el espesor de componentes sometidos a presión exterior, desarrollado para aceros de bajo contenido de carbono y/o baja aleación con tensión de fluencia mayor o igual a 207 MPa**

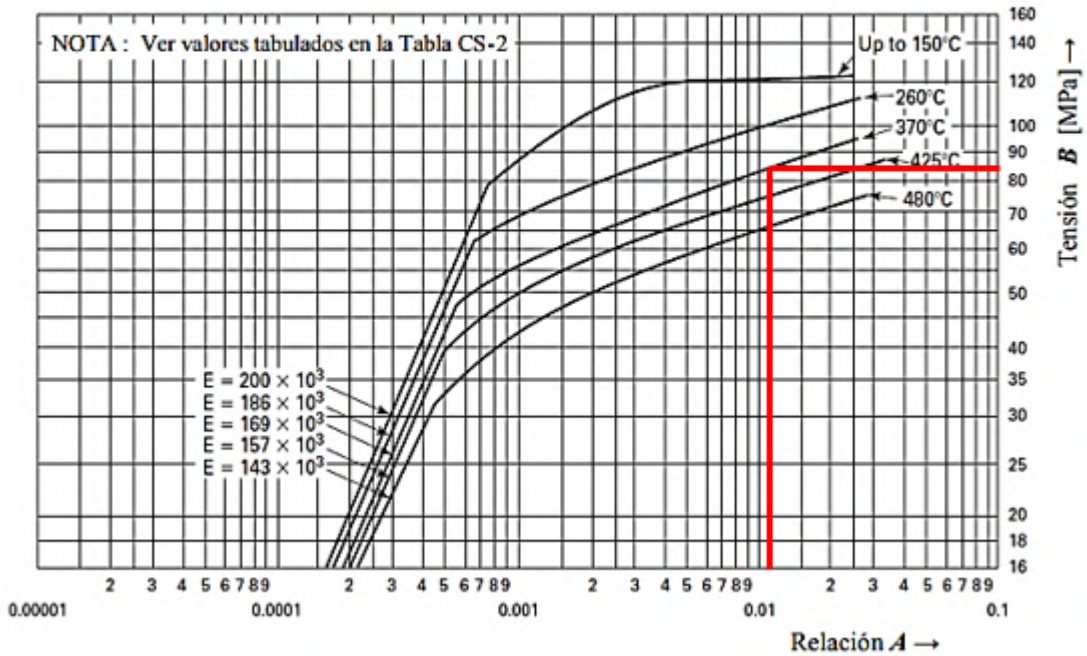


**ANEXO I: RELACIONES GEOMÉTRICAS PARA COMPONENTES SOMETIDOS A PRESIÓN EXTERIOR O CARGAS DE COMPRESIÓN**

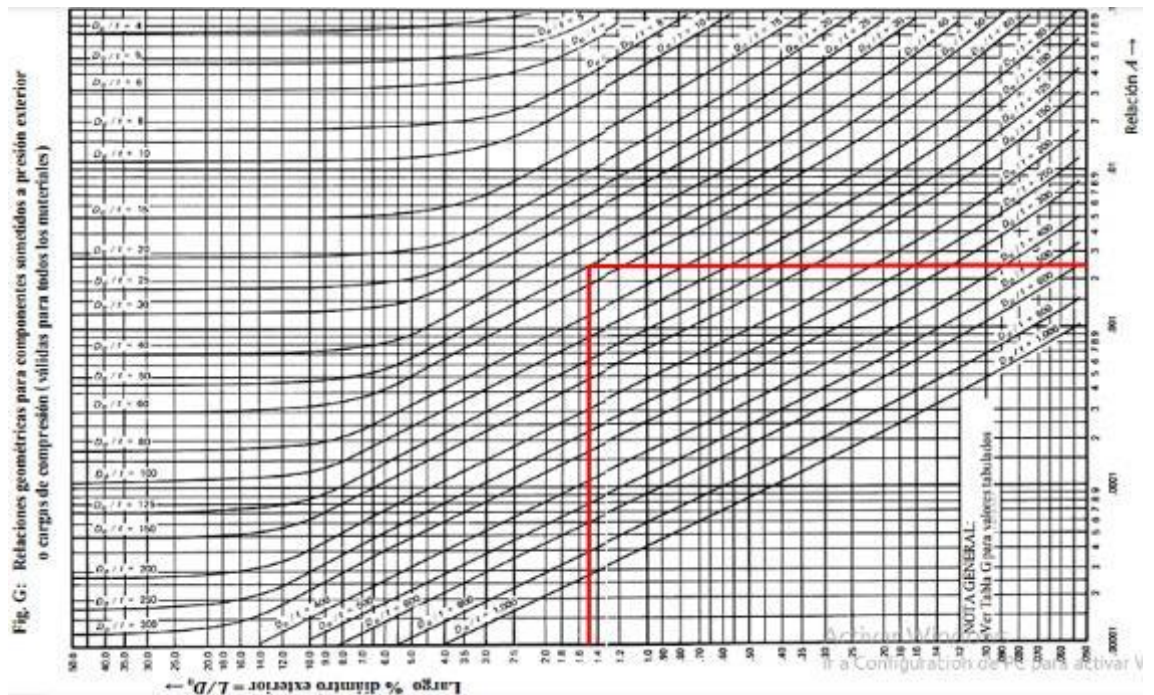


**ANEXO J: GRÁFICO PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE COMPONENTES SOMETIDOS A PRESIÓN**

**Fig. CS-2 Gráfico para determinar el espesor de componentes sometidos a presión exterior, desarrollado para aceros de bajo contenido de carbono y/o baja aleación con tensión de fluencia mayor o igual a 207 MPa**

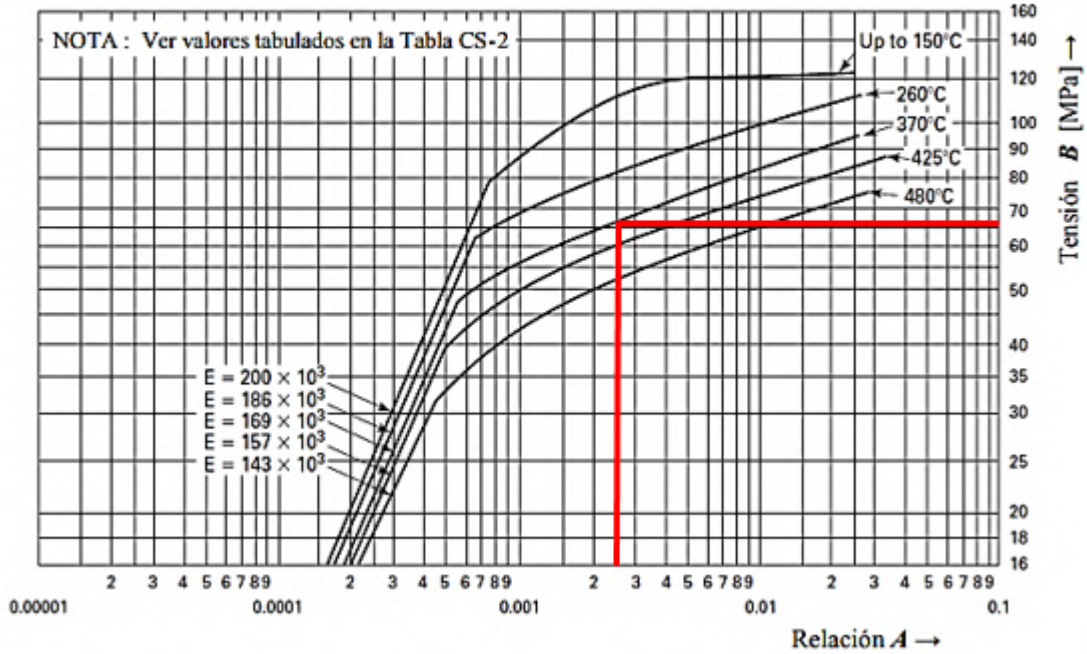


**ANEXO K: RELACIONES GEOMÉTRICAS PARA COMPONENTES SOMETIDOS A PRESIÓN EXTERIOR O CARGAS DE COMPRESIÓN**

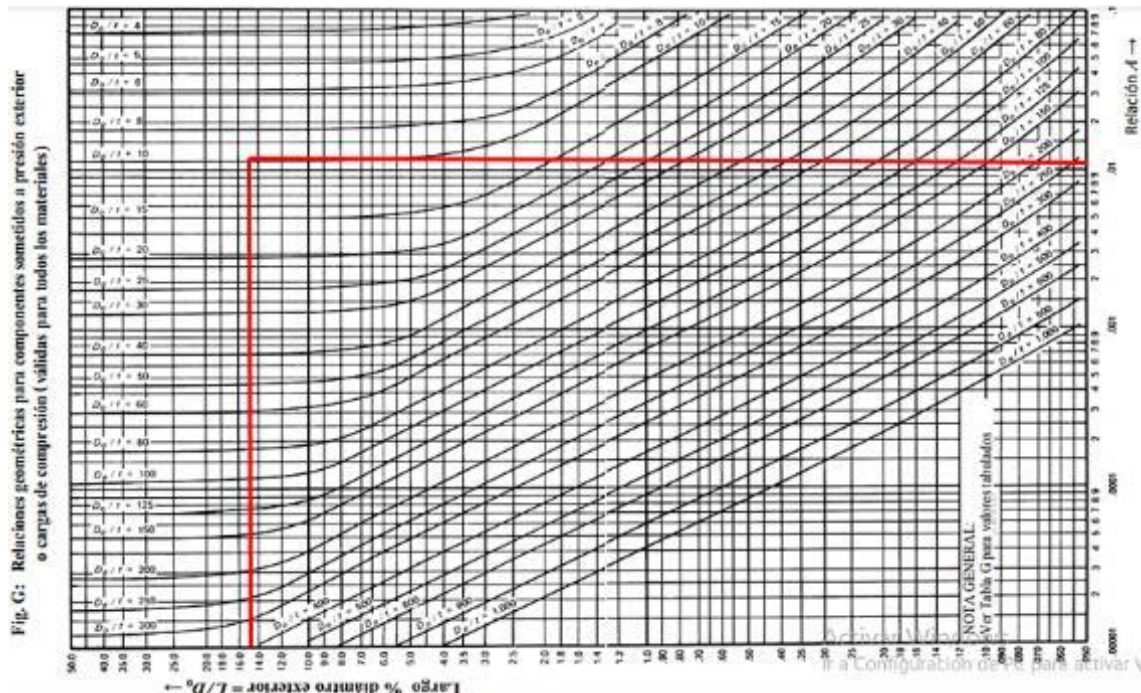


**ANEXO L: GRÁFICO PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE COMPONENTES SOMETIDOS A PRESIÓN**

**Fig. CS-2 Gráfico para determinar el espesor de componentes sometidos a presión exterior, desarrollado para aceros de bajo contenido de carbono y/o baja aleación con tensión de fluencia mayor o igual a 207 MPa**

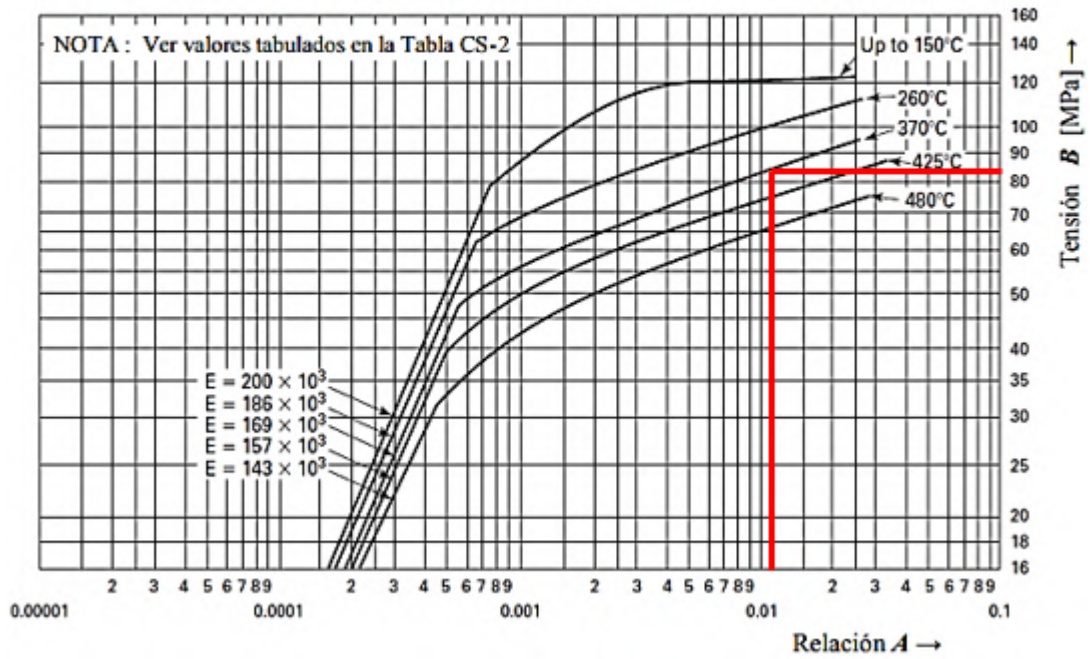


**ANEXO M: RELACIONES GEOMÉTRICAS PARA COMPONENTES SOMETIDOS A PRESIÓN EXTERIOR O CARGAS DE COMPRESIÓN**



ANEXO N: GRÁFICO PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE COMPONENTES SOMETIDOS A PRESIÓN SOMETIDOS A PRESIÓN

Fig. CS-2 Gráfico para determinar el espesor de componentes sometidos a presión exterior, desarrollado para aceros de bajo contenido de carbono y/o baja aleación con tensión de fluencia mayor o igual a 207 MPa





ANEXO O: PLANCHAS LAMINADAS AL CALIENTE (DIPAC)



**DIPAC**<sup>®</sup>  
PRODUCTOS DE ACERO

PLANCHAS

**PLANCHAS  
LAMINADAS AL CALIENTE**

**Especificaciones Generales**

- Norma** : Ver tabla
- Espesores** : 1.20mm a 100mm
- Alto** : Ancho 1000,1220,1500,1800
- Planchas** : 4 x 8 y a medida



Calidad Comercial

NORMA	COMPOSICION QUIMICA							PROPIEDADES MECANICAS			NORMA EQUIVALENTE
	% C	%Mn	%P	%S	%SI	%AL	%CU	Esfuerzo Máximo (Max)	Alargamiento %	Debido 180°	
JIS G3131-SPHC	0,08 0,13	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,05 max	0,02 0,08	0,2 max	270 min	29 min	0= Oe	SAE 1010 ASTM A-569
SAE 1008	0,03 0,1	0,25 0,5	0,02 max	0,025 max	0,04 max	0,02 0,08	0,2 max				JIS G3132 SPHT1
SAE 1012	0,1 0,15	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,03 max	0,02 0,08	0,2 max				ASTM A-635 ASTM A-570 GRADO 33

## ANEXO P: TUBERÍA PARA VAPOR (DIPAC)



24 SERVICIOS

TSC

### TUBERÍA PARA VAPOR TUBERÍA SIN COSTURA Y ACCESORIOS CEDULA 40

#### Especificaciones Generales

Norma	ASTM A 53 GR B - para extracción de tubería
Recubrimiento	Negro o galvanizado
Longitud nominal	4.00 m.
Otros largos	Por favor consultar
Acabado	Natural
Otro acabado	Por favor consultar

#### Resistencia Mecánica

Resistencia a la tracción	60000 psi ( 42.2 kg F/mm <sup>2</sup> )
Límite de elasticidad	35000 psi ( 24.6 kg F/mm <sup>2</sup> )
Alargamiento	0.5%



DIAMETRO NOMINAL	EXTERIOR		ESPESOR		PRESION/PRUEBA		PESO kg/mt
	mm	pulg.	mm	pulg.	kg/cm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>	
1/4"	13.70	0.54	2.24	0.08	49	700	0.63
3/8"	17.10	0.37	2.81	0.09	49	700	0.85
1/2"	21.30	0.64	2.77	0.10	49	700	1.27
3/4"	26.70	1.05	2.87	0.11	49	700	1.88
1"	33.40	1.31	3.38	0.13	49	700	2.50
1 1/4"	42.20	1.66	3.56	0.14	91	1300	3.38
1 1/2"	48.30	1.90	3.88	0.14	91	1300	4.05
2"	60.30	2.37	3.91	0.15	175	2500	5.44
2 1/2"	73.00	2.87	5.16	0.20	175	2500	8.52
3"	88.90	3.50	5.49	0.21	175	2500	11.29
4"	114.30	4.50	6.02	0.23	155	2210	16.07
5"	141.30	5.56	6.55	0.25	137	1950	21.76
6"	168.30	6.62	7.11	0.28	125	1780	28.26
8"	219.10	8.62	8.18	0.32	110	1570	42.53
10"	273.00	10.75	9.27	0.36	101	1430	60.29
12"	323.80	12.75	10.31	0.40	94	1340	79.65

Composición Química	Máximo porcentaje
Carbono	0.3
Manganeso	1.3
Fósforo	0.05
Azufre	0.04



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL  
APRENDIZAJE



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS  
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 07 / 09 / 2021

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> JONATHAN ANDRÉS CHANGO MUÑOZ DIEGO JOSÉ ZAVALA ZABALA
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> MECÁNICA
<b>Carrera:</b> MECÁNICA
<b>Título a optar:</b> INGENIERO MECÁNICO
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Lcdo. Holger Ramos, MSc.



Firmado electrónicamente por:  
**HOLGER GERMAN  
RAMOS UVIDIA**

1601-DBRA-UPT-2021