



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS PERIFÉRICOS: AGUA,  
COMBUSTIBLE, CONTROL Y GASES DE COMBUSTIÓN DEL  
CALDERO FULTON, PARA SUMINISTRAR VAPOR A EQUIPOS  
DEPENDIENTES”**

**AUTORES:**

**AVALOS VILEMA, JAVIER ANDRES**

**PUMISACHO GUALOTO, BORIS ALEXIS**

**DIRECTOR:**

**DR. DELGADO GARCÍA, REINALDO.**

**SANGOLQUÍ**

**2018**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación *"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS PERIFÉRICOS: AGUA, COBUSTIBLE, CONTROL Y GASES DE COMBUSTIÓN DEL CALDERO FULTON, PARA SUMINISTRAR VAPOR A EQUIPOS DEPENDIENTES"*, realizado por los señores *AVALOS VILEMA, JAVIER ANDRÉS*, y *PUMSACHO GUALOTO, BORIS ALEXIS*, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual nos permitimos acreditar y autorizar para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 13 de marzo de 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "R. Delgado", is written above a horizontal line.

DR. REINALDO DELGADO GARCÍA

C.C. 1750580266

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **AVALOS VILEMA, JAVIER ANDRÉS**, y **PUMISACHO GUALOTO, BORIS ALEXIS**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación : **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS PERIFÉRICOS: AGUA, COBUSTIBLE, CONTROL Y GASES DE COMBUSTIÓN DEL CALDERO FULTON, PARA SUMINISTRAR VAPOR A EQUIPOS DEPENDIENTES** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangoquí, 13 de marzo de 2018

JAVIER ANDRES AVALOS VILEMA

C.C. 0603970534

BORIS ALEXIS PUMISACHO GUALOTO

C.C. 1721207577



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

#### AUTORIZACIÓN

Nosotros, **AVALOS VILEMA, JAVIER ANDRÉS**, y **PUMISACHO GUALOTO, BORIS ALEXIS**, **AUTORIZAMOS** a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS PERIFÉRICOS: AGUA, COBUSTIBLE, CONTROL Y GASES DE COMBUSTIÓN DEL CALDERO FULTON, PARA SUMINISTRAR VAPOR A EQUIPOS DEPENDIENTES"** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 13 de marzo de 2018

JAVIER ANDRES AVALOS VILEMA

C.C. 0603970534

BORIS ALEXIS PUMISACHO GUALOTO

C.C. 1721207577

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo en primer lugar a Dios por brindarme cada día sabiduría para poder desarrollarme como persona, que junto con su bendición me ha guiado en el transcurso de mi vida, a mi madre Miriam Vilema por saber comprenderme y por haberme educado con mucho sacrificio y dedicación, a mi padre Javier Avalos por su apoyo incondicional en cada momento de mi vida, a mi papa Edison Heredia por ser una excelente persona y brindarme el apoyo necesario, a mi hermanita Evelin Heredia por estar siempre en el momento indicado por su comprensión y dulzura. Y en especial a mis abuelitos Mesías Vilema y Angélica Guaño seres que amo con todo mi corazón y son mi ejemplo de vida. Al Ingeniero Danilo Guayasamin por sus sabios consejos y apoyo incondicional durante mi desarrollo como persona y profesional.

**Javier Avalos Vilema**

El presente trabajo está dedicado a Dios que supo darme la fortaleza para lograr finalizar con éxito nuestro proyecto, también a nuestros padres y familiares, porque a pesar de todos los inconvenientes siempre nos apoyaron, brindándonos el apoyo y los recursos necesarios para realizar nuestros estudios. En la carrera universitaria se aprende a convivir con muchos tipos de personas y en muchas ocasiones se conocen a verdaderos hermanos, es por eso que este trabajo también va dedicado a nuestro hermano Eduardo Lapo que en paz descansa. El camino no ha sido fácil, pero siempre es mejor tener un apoyo a tu lado en todo momento, por esta razón dedico también este trabajo a mi compañera de vida Lisbeth Sango ya que su ayuda fue fundamental en el desarrollo del proyecto.

**Boris Pumisacho**

## **AGRADECIMIENTO**

En primera instancia agradecemos al departamento técnico de RETENA S.A. dirigido por los ingenieros David Platzer y Javier Viteri, que sin ningún inconveniente nos brindaron su ayuda y transmitieron sus conocimientos no solo para ser mejores profesionales, sino mejores personas.

A SEDEMI SCC., en especial al ingeniero Santiago Proaño por brindarnos el apoyo necesario para poder realizar parte de la construcción del presente proyecto en sus instalaciones.

Al doctor Reinaldo Delgado quien es tutor del proyecto por su acogida y retroalimentación de su valioso conocimiento.

## INDICE

CARÁTULA .....	i
CERTIFICADO DEL DIRECTOR:.....	ii
AUTORIA DE RESPONSABILIDAD .....	iii
AUTORIZACIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT .....	xvi
CAPÍTULO I.....	1
1. GENERALIDADES.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Definición del problema .....	2
1.3 Justificación e Importancia .....	3
1.2 Área de Influencia .....	4
1.3 Objetivos .....	4
1.4 Alcance del proyecto .....	5
CAPITULO II.....	8
2. MARCO TEÓRICO .....	8
2.1 Generación de vapor .....	8
2.2 Calderos .....	8
2.3 Sistemas Periféricos.....	12
CAPITULO III.....	38
3. Mantenimiento del caldero FULTON.....	38
3.1 Análisis primario y determinación del estado del caldero FULTON .....	38
3.3 Detección de defectos .....	42
3.3 Mantenimiento Correctivo.....	46
CAPÍTULO IV .....	50
4.1 Diseño del sistema de alimentación de agua .....	50
4.2 Sistema de purgas del caldero .....	74

4.2.4 Instalación y montaje del sistema.....	78
4.3 Sistema de alimentación de combustible .....	79
4.3.2 Instalación y montaje del sistema.....	98
CAPITULO V .....	100
5. Construcción de tubería de abastecimiento de vapor .....	100
5.1 Diseño del sistema de distribución de vapor .....	100
5.3.3 Instalación y montaje del sistema.....	140
CAPITULO VI .....	142
Sistema de gases de combustión .....	142
6.1 Diseño del sistema de evacuación de gases de combustión .....	142
CAPITULO VII .....	150
7.1 Diseño del sistema de control .....	150
CAPÍTULO VIII .....	156
PRUEBAS Y RESULTADOS .....	156
8.1 Pruebas de funcionamiento de los sistemas periféricos.....	156
8.1.1 Pruebas del sistema de alimentación de agua .....	156
8.1.2 Pruebas del sistema de alimentación de combustible .....	157
8.1.3 Pruebas del sistema de purgas .....	157
8.1.4 Pruebas del sistema de control .....	158
8.1.5 Pruebas del sistema de evacuación de gases de combustión .....	158
8.1.6 Pruebas del sistema de abastecimiento de vapor .....	160
8.2 Comparación del estado actual vs el estado inicial del caldero.....	160
8.3 Determinación de la eficiencia del caldero .....	163
7.4 Determinación de la evaporación real .....	168
Conclusiones.....	171
Recomendaciones.....	173
BIBLIOGRAFIA:.....	174



## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Problemas asociados al agua de alimentación</i> .....	13
<b>Tabla 2.</b> <i>Condiciones recomendadas por el agua de alimentación</i> .....	19
<b>Tabla 3.</b> <i>Tanques de condensado</i> .....	20
<b>Tabla 4.</b> <i>Funciones del sistema de control</i> .....	35
<b>Tabla 5.</b> <i>Elementos constitutivos del sistema de alimentación de agua al caldero FULTON</i> .....	53
<b>Tabla 6.</b> <i>Características bomba GRUNDFOS CR 10</i> .....	57
<b>Tabla 7.</b> <i>Acciones de mantenimiento correctivo realizado a la bomba GRUNDFOS CR 10</i> .....	58
<b>Tabla 8.</b> <i>Velocidades sugeridas para el cálculo</i> .....	60
<b>Tabla 9</b> <i>Características de la tubería del sistema de alimentación de agua</i> .....	65
<b>Tabla 10</b> <i>Caracterización de las válvulas de esfera</i> .....	65
<b>Tabla 11</b> <i>Características de las válvulas de globo utilizadas en el sistema de alimentación de agua</i> .....	66
<b>Tabla 12</b> <i>Características de las válvulas check utilizadas en el sistema de alimentación de agua</i> .....	66
<b>Tabla 13</b> <i>Características de la válvula de flotador utilizada en el sistema de alimentación de agua</i> .....	67
<b>Tabla 14.</b> <i>Características del filtro en Y utilizado en el sistema de alimentación de agua</i> .....	67
<b>Tabla 15.</b> <i>Características del tanque de condensado</i> .....	70
<b>Tabla 16</b> <i>Características del visor de nivel</i> .....	71
<b>Tabla 17.</b> <i>Características del manómetro</i> .....	71
<b>Tabla 18.</b> <i>Características de los elementos para instalar la tubería del sistema de alimentación de agua</i> .....	72
<b>Tabla 19.</b> <i>Instrumentos para el montaje</i> .....	73
<b>Tabla 20.</b> <i>Elementos constitutivos del sistema de purgas del caldero FULTÓN</i> .....	75
<b>Tabla 21.</b> <i>Características de la tubería del sistema de purgas del caldero FULTÓN</i> ....	76
<b>Tabla 22</b> <i>Características de la tubería de la purga del visor de nivel</i> .....	77
<b>Tabla 23</b> <i>Características de las válvulas de esfera utilizadas en el sistema de purgas del caldero</i> .....	77
<b>Tabla 24.</b> <i>Características de las válvulas de compuerta utilizadas en el sistema de purgas del caldero</i> .....	78
<b>Tabla 25.</b> <i>Características de los elementos para instalar la tubería</i> .....	78
<b>Tabla 26</b> <i>Elementos constitutivos del sistema de alimentación de combustible al caldero FULTÓN</i> .....	81
<b>Tabla 27.</b> <i>Características del quemador</i> .....	82
<b>Tabla 28</b> <i>Estado inicial y operaciones en los elementos del quemador FULTÓN</i> .....	83
<b>Tabla 29.</b> <i>Características finales de los elementos del quemador FULTÓN</i> .....	87

<b>Tabla 30.</b>	<i>Características de la tubería del sistema de alimentación de combustible ...</i>	96
<b>Tabla 31.</b>	<i>Características de las válvulas de esfera utilizadas en el sistema de alimentación de combustible.....</i>	97
<b>Tabla 32.</b>	<i>Características de las válvulas check utilizadas en el sistema de alimentación de combustible.....</i>	97
<b>Tabla 33.</b>	<i>Características del filtro en Y para combustible .....</i>	98
<b>Tabla 34.</b>	<i>Características de los elementos para instalar la tubería.....</i>	99
<b>Tabla 35.</b>	<i>Elementos constitutivos del subsistema caldero-concentrador de vapor .....</i>	101
<b>Tabla 36.</b>	<i>Características de la tubería del sistema de suministro de vapor .....</i>	106
<b>Tabla 37.</b>	<i>Características del concentrador de vapor.....</i>	110
<b>Tabla 38.</b>	<i>Características de la tubería de condensado del concentrador de vapor....</i>	112
<b>Tabla 39.</b>	<i>Características de las válvulas de esfera utilizadas en la tubería de vapor</i>	113
<b>Tabla 40.</b>	<i>Características de las válvulas de compuerta utilizadas en la tubería de vapor.....</i>	113
<b>Tabla 41.</b>	<i>Características de las válvulas check utilizadas en la tubería de condensado .....</i>	113
<b>Tabla 42.</b>	<i>Características del filtro en Y utilizado antes de la trampa de balde invertido .....</i>	114
<b>Tabla 43.</b>	<i>Características de la trampa de balde invertido .....</i>	116
<b>Tabla 44.</b>	<i>Elementos constitutivos del subsistema concentrador de vapor-equipo de conducción.....</i>	118
<b>Tabla 45.</b>	<i>Características de la tubería de vapor.....</i>	119
<b>Tabla 46.</b>	<i>Características de la tubería de condensado del equipo de conducción.....</i>	121
<b>Tabla 47.</b>	<i>Características de las válvulas de esfera utilizadas en la tubería de vapor</i>	122
<b>Tabla 48.</b>	<i>Características de las válvulas de compuerta utilizadas en la tubería de vapor.....</i>	122
<b>Tabla 49.</b>	<i>Características de las válvulas check utilizadas en la tubería de condensado .....</i>	123
<b>Tabla 50.</b>	<i>Características de la trampa termodinámica .....</i>	123
<b>Tabla 51.</b>	<i>Características del filtro en Y utilizado antes de la reductora de presión ...</i>	124
<b>Tabla 52.</b>	<i>Características de la reductora de presión.....</i>	124
<b>Tabla 53.</b>	<i>Elementos constitutivos del subsistema concentrador de vapor-equipo de calorímetros.....</i>	126
<b>Tabla 54.</b>	<i>Características de la tubería de vapor.....</i>	127
<b>Tabla 55.</b>	<i>Características de la tubería de condensado del equipo de calorímetros... </i>	129
<b>Tabla 56.</b>	<i>Características de las válvulas de esfera utilizadas en la tubería de vapor</i>	130
<b>Tabla 57.</b>	<i>Características de las válvulas de compuerta utilizadas en la tubería de vapor.....</i>	130
<b>Tabla 58.</b>	<i>Características de las válvulas check utilizadas en la tubería de condensado .....</i>	131

<b>Tabla 59.</b> <i>Características de la trampa termodinámica</i> .....	131
<b>Tabla 60.</b> <i>Elementos constitutivos del subsistema concentrador de vapor-inyector de vapor</i> .....	132
<b>Tabla 61</b> <i>Características de la tubería de vapor del inyector de vapor</i> .....	134
<b>Tabla 62.</b> <i>Características de las válvulas de esfera utilizadas en la tubería de vapor</i> .....	134
<b>Tabla 63.</b> <i>Características de las válvulas de compuerta utilizadas en la tubería de vapor</i> .....	135
<b>Tabla 64.</b> <i>Elementos constitutivos del subsistema concentrador de vapor-válvula de abastecimiento de vapor</i> .....	136
<b>Tabla 65.</b> <i>Características de la tubería de abastecimiento de vapor</i> .....	138
<b>Tabla 66</b> <i>Características de las válvulas de compuerta utilizadas en la tubería de vapor</i> .....	138
<b>Tabla 67.</b> <i>Características del filtro en Y utilizado antes de la reductora de presión</i> ....	139
<b>Tabla 68.</b> <i>Características de la reductora de presión</i> .....	139
<b>Tabla 69.</b> <i>Características de los elementos para instalar la tubería</i> .....	140
<b>Tabla 70.</b> <i>Características de la chimenea</i> .....	148
<b>Tabla 71.</b> <i>Características del termómetro de chimenea</i> .....	149
<b>Tabla 72.</b> <i>Elementos del control de nivel de agua</i> .....	151
<b>Tabla 73</b> <i>Elementos del control de presión del caldero</i> .....	153
<b>Tabla 74</b> <i>Elementos del control de llama del quemador</i> .....	154
<b>Tabla 75.</b> <i>Características de las válvulas de alivio</i> .....	155
<b>Tabla 76.</b> <i>Verificación del funcionamiento del sistema de alimentación de agua</i> .....	156
<b>Tabla 77.</b> <i>Verificación del funcionamiento del sistema de alimentación de combustible</i> .....	157
<b>Tabla 78.</b> <i>Verificación del funcionamiento del sistema de purgas</i> .....	157
<b>Tabla 79.</b> <i>Verificación del funcionamiento del sistema de control</i> .....	158
<b>Tabla 80.</b> <i>Verificación del funcionamiento del sistema de control</i> .....	160
<b>Tabla 81.</b> <i>Verificación del funcionamiento del sistema de abastecimiento de vapor</i> ...	160
<b>Tabla 82.</b> <i>Estado actual vs estado inicial del equipo</i> .....	161

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Caldero FULTON.....	1
<b>Figura 2:</b> Caldero YORK SHIPLEY.....	2
<b>Figura 3:</b> Caldero pirotubular.....	10
<b>Figura 4:</b> Esquema caldero acuotubular.....	11
<b>Figura 5:</b> Número de pasos para los.....	11
<b>Figura 6:</b> Clasificación de calderos según el tipo de tiro.....	12
<b>Figura 7:</b> Sistema de alimentación de agua.....	13
<b>Figura 8:</b> Incrustaciones en calderos.....	14
<b>Figura 9:</b> Corrosión en Calderos.....	15
<b>Figura 10:</b> Arrastre en calderos.....	15
<b>Figura 11:</b> Ablandador de agua.....	17
<b>Figura 12:</b> Bomba de dosificación de químico.....	18
<b>Figura 13:</b> Tanque de condensado.....	20
<b>Figura 14:</b> Impulsor de rodete.....	22
<b>Figura 15:</b> Purgas de un caldero.....	23
<b>Figura 16:</b> Quemador para Calderos.....	24
<b>Figura 17:</b> Proceso de combustión.....	24
<b>Figura 18:</b> Distribuidor de vapor.....	26
<b>Figura 19:</b> Reductora de presión.....	26
<b>Figura 20:</b> Funcionamiento trampa de balde invertido.....	28
<b>Figura 21:</b> Funcionamiento trampa de flotador.....	28
<b>Figura 22:</b> Funcionamiento trampa termostática.....	29
<b>Figura 23:</b> Funcionamiento trampa termodinámica.....	29
<b>Figura 24:</b> Válvula de esfera.....	30
<b>Figura 25:</b> Válvula de globo.....	31
<b>Figura 26:</b> Válvula de compuerta.....	31
<b>Figura 27:</b> Válvula check.....	32
<b>Figura 28:</b> Válvula de flotador.....	32
<b>Figura 29:</b> Filtro en Y.....	33
<b>Figura 30:</b> Visor de nivel de.....	33
<b>Figura 31:</b> Manómetro.....	34
<b>Figura 32:</b> Chimenea del caldero.....	34
<b>Figura 33:</b> Medidor de espesores.....	39
<b>Figura 34:</b> Presión Prueba.....	41
<b>Figura 35:</b> Desmontaje de.....	42
<b>Figura 36:</b> Descripción.....	43
<b>Figura 37:</b> Conjunto.....	44
<b>Figura 38:</b> Desmontaje.....	44
<b>Figura 39:</b> Desmontaje.....	45

<b>Figura 40.</b> Puertas de .....	45
<b>Figura 41.</b> Electrodo de nivel .....	46
<b>Figura 42.</b> Empaque Hand.....	47
<b>Figura 43.</b> Posicionamiento .....	48
<b>Figura 44.</b> Limpieza ducto.....	48
<b>Figura 45.</b> Sistema de alimentación de agua caldero FULTON.....	52
<b>Figura 46.</b> Bomba centrífuga.....	55
<b>Figura 47.</b> Curvas características de bomba Grundfos CR 10.....	56
<b>Figura 49:</b> Levantamiento de la presión .....	58
<b>Figura 48.</b> Prueba de .....	58
<b>Figura 50.</b> Antes y después .....	59
<b>Figura 51.</b> Diagrama de Moody para tubería de agua .....	63
<b>Figura 52:</b> Cálculo de tuberías.....	64
<b>Figura 53.</b> Tanque de condensado .....	70
<b>Figura 54.</b> Uso de roscadora .....	72
<b>Figura 55:</b> Sistema de purgas del.....	75
<b>Figura 56:</b> Sistema de alimentación de combustible al caldero FULTÓN.....	80
<b>Figura 57.</b> Quemador FULTÓN .....	82
<b>Figura 58.</b> Elementos del .....	83
<b>Figura 59.</b> Ventilador .....	84
<b>Figura 60.</b> Tobera MONARCH.....	85
<b>Figura 61.</b> Fococelda BECKETT .....	85
<b>Figura 62.</b> Matrimonio Crown KK 100 .....	85
<b>Figura 63.</b> Electrodo de.....	86
<b>Figura 64.</b> Quemador caldero FULTON.....	86
<b>Figura 65.</b> Elementos del quemador FULTÓN.....	87
<b>Figura 66.</b> Combustión en.....	88
<b>Figura 67.</b> Bomba de combustible ITALPUMP G6.....	89
<b>Figura 68.</b> Funcionamiento bomba de combustible ITALPUMP G6.....	90
<b>Figura 69.</b> Características de la bomba de combustible .....	91
<b>Figura 70.</b> Diagrama de Moody para tubería de combustible .....	94
<b>Figura 71.</b> Cálculo de tuberías con el software TLV .....	96
<b>Figura 72.</b> Subsistema caldero-concentrador .....	100
<b>Figura 73.</b> Diagrama de Moody para tubería de vapor .....	105
<b>Figura 74.</b> Cálculo de tuberías.....	106
<b>Figura 75.</b> Cálculo de tuberías con el software TLV .....	108
<b>Figura 76.</b> Fabricación del concentrador de vapor.....	109
<b>Figura 77.</b> Cálculo de la carga de condensado con.....	111
<b>Figura 78.</b> Cálculo del diámetro de la tubería de condensado.....	112
<b>Figura 79.</b> Selección del tipo de trampa según su aplicación .....	115

<b>Figura 80.</b> Subsistema concentrador de vapor-equipo .....	117
<b>Figura 81.</b> Cálculo de tuberías con el software TLV .....	119
<b>Figura 82.</b> Cálculo de la carga de condensado con software TLV .....	120
<b>Figura 83.</b> Cálculo del diámetro de la tubería de condensado.....	121
<b>Figura 84:</b> Subsistema concentrador de vapor-equipo .....	125
<b>Figura 85.</b> Cálculo de tuberías con el .....	127
<b>Figura 86:</b> Cálculo de la carga de condensado .....	128
<b>Figura 87.</b> Cálculo del diámetro de la tubería .....	129
<b>Figura 88:</b> Subsistema concentrador de.....	132
<b>Figura 89.</b> Cálculo de tuberías con el software TLV .....	133
<b>Figura 90.</b> Subsistema concentrador de .....	136
<b>Figura 91.</b> Cálculo de tuberías con el software TLV .....	138
<b>Figura 92.</b> Termómetro .....	149
<b>Figura 93.</b> Controles de nivel por.....	150
<b>Figura 94.</b> Switch de presión .....	152
<b>Figura 95.</b> Control de fuego Genesys .....	154
<b>Figura 96</b> Válvula de alivio.....	155
<b>Figura 97.</b> Resultados de análisis.....	159
<b>Figura 98.</b> Estado actual del caldero FULTON .....	162
<b>Figura 99.</b> Estado inicial del caldero FULTON.....	162
<b>Figura 100.</b> Estado del clima en Sangolquí .....	170

## **RESUMEN**

El trabajo de titulación consiste en el diseño y la construcción de sistemas periféricos (agua, combustible, control y gases de combustión), del caldero FULTON, para suministrar vapor a equipos dependientes, se realiza un levantamiento previo mediante un mantenimiento correctivo, así como la aplicación de diversos métodos de inspección tales como inspección visual, medición del espesor mediante ultrasonido de la pared del caldero, prueba hidrostática, con la finalidad de saber el estado actual del equipo. Esto se traduce a la puesta en marcha del caldero FULTON DE 15 BHP N° B 2607, y la demostración de las diferentes leyes de la termodinámica mediante el análisis de la eficiencia del equipo y su balance energético.

## **PALABRAS CLAVE**

- **CALDERO**
- **EFICIENCIA**
- **BALANCE ENERGETICO**
- **MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

## **ABSTRACT**

The degree work consists of the design and construction of peripheral systems (water, fuel, control and combustion gases), of the FULTON Boiler, to supply steam to dependent equipment, a preliminary survey has been carried out through corrective maintenance, as well as the application of various inspection methods such as visual inspection, ultrasonic thickness measurement of the Boiler, hydrostatic test. This translates into the start-up of the FULTON BOILER OF 15 BHP N ° B 2607, and the demonstration of the different laws of thermodynamics through the analysis of its combustion efficiency, equipment efficiency and its energy balance.

## **KEYWORDS**

- **BOILER**
- **EFFICIENCY**
- **ENERGY BALANCE**
- **CORRECTIVE MAINTENANCE**



## CAPÍTULO I

### 1. GENERALIDADES

#### 1.1 Antecedentes

Uno de los mecanismos utilizados para la obtención de energía es la generación de vapor. La generación de vapor por medio de la elevación de la temperatura y presión del agua (calderos), es un proceso en el cual se puede visualizar los diferentes ciclos termodinámicos, siendo un proceso muy importante dentro de las prácticas realizadas en los laboratorios del DECEM, motivo por el que la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, se ha visto en la necesidad de adquirir un caldero FULTON en el año de 1982 ver **Figura 1**, antes utilizado para las diferentes prácticas de los diferentes laboratorios, este caldero formaba parte de un sistema cerrado RANKINE, que por modificaciones posteriores a su instalación no cumple con las garantías necesarias de seguridad y propias de su funcionamiento.



**Figura 1:** Caldero FULTON

Fuente: ("FULTON-CALDERAS," 2011)

Por ese motivo la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE realiza la adquisición de un caldero YORK SHIPLEY ver **Figura 2**, instalado por la empresa "LA LLAVE" en el 2007.



**Figura 2:** Caldero YORK SHIPLEY

Fuente: ESPE, 2009

Silva Cristian y Velastegí Miguel (Politécnica et al., 2009) en su proyecto de titulación “Puesta en marcha, automatización y curvas de calibración para el caldero YORK SHIPLEY del laboratorio de Termodinámica del DECEM”, realizan la implementación de un sistema de adquisición de datos, con el fin de facilitar al estudiante la apreciación de las diferentes mediciones y para obtener las curvas de calibración.

Mosquera Alexander (et al., 2008) en su proyecto de grado titulado “Automatización y Mantenimiento de la Turbina de la Planta de Vapor del Laboratorio de Termodinámica DECEM”, se realiza como parte principal el mantenimiento de la turbina de vapor que se encuentra en el Laboratorio de Termodinámica, forma parte de un ciclo cerrado RANKINE, para posterior a su verificación se realiza un levantamiento para poder implementar los diferentes sistemas de control para la respectiva automatización del caldero, brindando así las garantías necesarias para llevar las prácticas de laboratorio de forma segura.

## **1.2 Definición del problema**

El caldero YORK SHIPLEY fue instalado junto con otros equipos con la finalidad de realizar un estudio del ciclo cerrado RANKINE, debido a la instalación de nuevas líneas de suministro de vapor a otros equipos que no corresponden al ciclo RANKINE, no se logra cerrar el mismo, para así poder obtener un balance del ciclo.

Debido a la adquisición del Caldero YORK SHIPLEY el caldero FULTON es retirado de servicio al no contar con las garantías necesarias para una práctica segura sufriendo daños importantes.

Actualmente el caldero no cuenta sistemas periféricos de alimentación, sistemas de control, ni líneas de descarga del vapor a los diferentes equipos dependientes para poder realizar las prácticas de laboratorio de las asignaturas como: Termodinámica, Termodinámica Aplicada, Transferencia de Calor y Diseño Térmico en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

### **1.3 Justificación e Importancia**

El caldero FULTON es un equipo muy importante dentro de la generación de vapor en el laboratorio de conversión de energías del DECEM, varios equipos dependerán de su funcionamiento como: Banco de conducción en varillas de longitud infinita, Inyector y Calorímetros.

En la actualidad estos equipos se encuentran abastecidos por el caldero YORK SHIPLEY, así como también el suministro de una línea de vapor para realizar limpieza de equipos y herramientas, mencionando también que el proyecto se encuentra dentro del plan estratégico de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, es decir docencia, investigación y vinculación con la sociedad, que se desarrollan en el laboratorio de conversión de energías del DECEM, respaldado por el vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología, apoyando así este tipo de proyectos la implementación en los diferentes laboratorios.

Actualmente el equipo se encuentra fuera de servicio y ha permanecido así por el transcurso de más de 10 años, adquirir un equipo de estas características, para satisfacer las necesidades de suministro de vapor representa una fuerte inversión para la institución. Por esta razón se hace necesario y se justifica la importancia de la implementación de este proyecto de titulación, en el que se realizara un mantenimiento correctivo, diseño y construcción de sistemas de alimentación de agua, combustible y

evacuación de gases de combustión, de igual manera el sistema de control con el que cuenta esta demasiado obsoleto y muchos de sus componentes cumplieron ya con su vida útil por lo que se realizara un diseño y modernizado de control para que el caldero puede brindar las garantías suficientes para llevar las diferentes prácticas de laboratorio.

Todas estas transformaciones del equipo son fundamentales para permitir entre otras cosas:

- Abastecer de vapor generado por el caldero FULTON a los equipos dependientes, con esto se logrará eliminar cargas extras al caldero YORK SHIPLEY y se trabajará en un ciclo cerrado.
- Facilitar el proceso pedagógico de enseñanza práctica, para que los estudiantes puedan conocer de cerca el proceso de generación de vapor además de realizar prácticas de mantenimiento del equipo.
- Cumplir un ciclo eficiente termodinámico.

## **1.2 Área de Influencia**

El proyecto planteado está dirigido a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica que cursan las cátedras del área de energías, que no tienen acceso a un equipo pedagógico de estas características. El proyecto busca mejorar la realización de prácticas en la planta de vapor del laboratorio de conversión de energías del DECEM en términos de rapidez y adquisición de datos fiables, así como conocer el proceso de generación de vapor de manera industrial sin dejar de lado los sistemas de control que se utiliza en el mismo.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

- Realizar el diseño y construcción de sistemas periféricos: agua, combustible, control y gases de combustión del caldero FULTON, para suministrar vapor a equipos dependientes.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Desarrollar el marco teórico del caldero FULTON
- Realizar el estudio del estado actual del caldero FULTON.
- Realizar el diseño mecánico de sistemas de alimentación de agua y combustible, así como también del sistema de evacuación de gases de combustión.
- Realizar el diseño eléctrico del sistema de control.

### **1.4 Alcance del proyecto**

El proyecto consta de varias etapas y cada una de ellas va a ser asesorada y auspiciada por la empresa RETENA S.A. cada etapa se la detalla a continuación:

#### **1.4.1 Estudio del Caldero FULTON DE 15 BHP N° B 2607.**

- Estudio de la teoría del equipo denominado caldero FULTON en base a información proporcionada por el fabricante en manuales y brochures, para comprender el diseño y el funcionamiento del equipo.
- Estudio del estado actual del equipo mediante ensayos no destructivos como: prueba hidrostática, medición de espesores por ultrasonido, así como también inspección visual y pruebas de operación de componentes adicionales.

#### **1.4.2 Mantenimiento Correctivo del equipo.**

- Determinación de fallos del equipo, basados en el estudio del estado actual del equipo.
- Limpieza de incrustaciones y residuos de combustión del lado de fuego.
- Limpieza de incrustaciones y lavado del lado de agua.
- Realizar un mantenimiento correctivo de los elementos que lo requieran según el estudio.
- Colocar empaquetadura del lado de agua y lado de fuego.
- Instalación de válvulas de seguridad y válvulas de corte.
- Prueba hidrostática del caldero.

### **1.4.3 Diseño e implementación del sistema de alimentación de agua y combustible además de sistema de evacuación de gases de combustión.**

Para el sistema de alimentación de agua.

- Diseño del sistema de alimentación de agua.
- Mantenimiento y pruebas de funcionamiento de la bomba de agua.
- Instalación y montaje de válvulas de corte, válvulas de retención, filtros y longitud tubería (Hierro Galvanizado) necesaria según el diseño.
- Pruebas de funcionamiento en vacío y con carga.

#### **1.4.3.1 Sistema de alimentación de combustible.**

- Mantenimiento general del quemador del cual dispone el equipo.
- Diseño del sistema de alimentación de combustible.
- Adquisición y pruebas de funcionamiento de la bomba de combustible.
- Instalación de válvulas de corte, válvulas reguladoras, válvulas de retención, filtros, mangueras de combustible y longitud tubería necesaria (Hierro Negro) según el diseño.
- Pruebas de funcionamiento en vacío y con carga.

#### **1.4.3.2 Sistema de evacuación de gases de combustión.**

- Diseño del sistema evacuación de gases de combustión.
- Construcción e instalación de la chimenea.
- Pruebas de funcionamiento

### **1.4.4 Diseño e implementación del sistema de control.**

Todo el sistema de control será reemplazado completamente por uno nuevo debido a que el sistema es antiguo y los elementos están obsoletos y ya han cumplido su vida útil de trabajo.

- Diseño del sistema de control.
- Implementación de un nuevo sistema eléctrico de control.

- Instalación de control de fuego, control de nivel de agua, relés, switch de presión, sensor de llama y cableado necesario según el diseño.
- Pruebas de funcionamiento.

#### **1.4.5 Construcción de tubería de abastecimiento de vapor.**

- Diseño del sistema de tubería de abastecimiento de vapor.
- Instalación de válvulas de corte, válvulas reguladoras, trampas de vapor, y longitud de tubería (Hierro Negro) según el diseño.
- Pruebas de funcionamiento en vacío y con carga.

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Generación de vapor

##### 2.1.1 Vapor

Es un estado del agua en el que las moléculas apenas interaccionan entre sí, adoptando la forma del recipiente que lo contiene y tendiendo a expandirse todo lo posible, incluso venciendo las fuerzas gravitatorias.

También se lo conoce como fluido ya que se desenvuelve por el medio que lo rodea de manera muy fácil. (Clayton, 2016)

##### 2.1.2 Como se genera el Vapor

Se parte como punto de referencia el contenido de energía calorífica, o entalpía, de 1 kg de agua a presión atmosférica, y a la temperatura de fusión del hielo, 0°C. Se toma esto como cero, y añadiendo calor a este kg de agua, su temperatura empezará a elevarse hasta alcanzar 100°C. A partir de este instante, no subirá más la temperatura y todo el calor que reciba el agua se utilizará únicamente en cambiar de estado (líquido saturado a vapor saturado), hasta que el kg de agua se haya evaporado en su totalidad. Todo el calor agregado para llevar el agua de 0°C a su punto de ebullición, se conoce como calor sensible y se simboliza por hf. La energía calorífica extra para llevar a cabo el cambio de fase se denomina calor latente (entalpía específica de evaporación) y se simboliza por hfg. La energía calorífica o entalpía total en cada kilogramo de vapor es la suma de los dos términos anteriores y se denomina “entalpía específica del vapor” o “calor total”. (Clayton, 2016)

#### 2.2 Calderos

##### 2.2.1 Definición

Sistema o depósito hermético en el cual se aporta una cantidad controlada de agua, combustible y calor con la finalidad de obtener vapor tras la conversión de agua del estado líquido a un estado en su punto de ebullición.



## **2.2.2 Clasificación**

Los calderos se clasifican de diferentes maneras entre ellas las siguientes, según su:

- Utilización
- Diseño
- Número de pasos
- Tiro

### **2.2.2.1 Clasificación de calderos según su utilización**

La primera clasificación depende de su utilización, los calderos se subdividen en las siguientes:

- Uso industrial
- Generación en plantas terrestres
- Generación en barcos
- Plantas de cogeneración
- Generación en plantas termoeléctricas
- Generación domestica

En este caso nos referiremos al caldero de generación de energía de uso industrial.

#### **2.2.2.1.1 Calderos para plantas industriales**

Son del tipo de calderos que se encargan de generar energía para ser consumida dentro de una fábrica, su montaje es de manera estática entre las aplicaciones más frecuentes de este tipo de calderas se destacan las siguientes:

- Calefacción industrial.
- Procesos de producción.
- Generación de energía eléctrica.

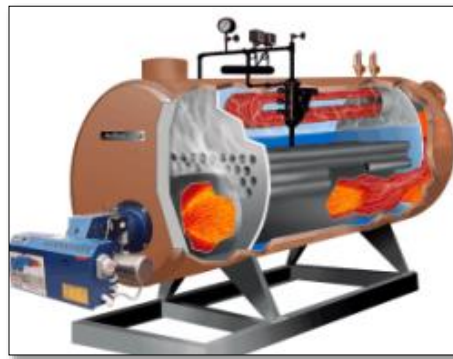
#### **2.2.2.2 Clasificación de calderos según su diseño**

En el caso de esta clasificación puntalmente los calderos se clasifican en dos grandes grupos que son:

- Piro tubulares
- Acuotubulares

#### 2.2.2.2.1 Calderos piro tubulares

También conocidos como tubos de humo, se identifican por la llama se forman dentro del hogar y los gases de combustión producidos por la combustión pasan por la parte interna de los tubos de los pasos, normalmente dos o tres pasos, para desembocar finalmente en la chimenea de evacuación de los gases de combustión. Ver **Figura 3**.



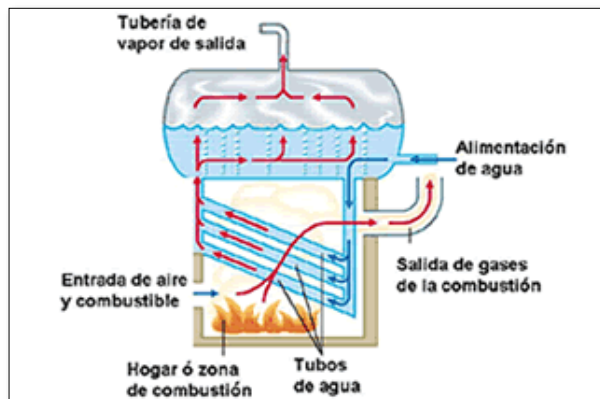
**Figura 3:** Caldero piro tubular

Fuente:(Clayton, 2016)

Este tipo de calderos son utilizados generalmente en donde la demanda de vapor es reducida.

#### 2.2.2.2.2 Calderos acuotubulares

También conocidos como tubos de agua, esto se debe ya que a diferencia de los calderos descritos anteriormente los gases de combustión pasan por el interior de los tubos en este tipo de caldero el agua es quien pasa por el interior de los tubos, se caracteriza porque la llama producida por el quemador se genera dentro del recinto conformado por las paredes tubulares alrededor de la misma llamada cámara de combustión u hogar. Ver **Figura 4**.



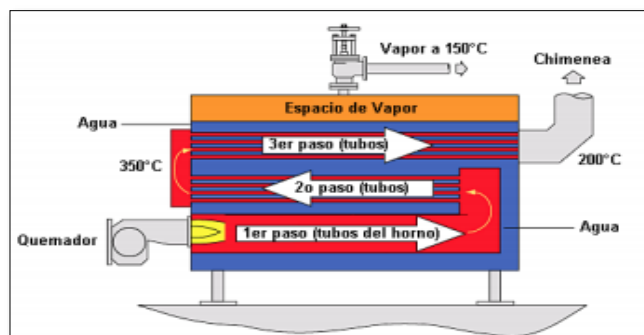
**Figura 4:** Esquema caldero acuotubular

Fuente:(Clayton, 2016)

### 2.2.2.3 Clasificación de calderos según el número de pasos.

Esto reflejado en una caldera representa cuantos pasos recorren los gases de combustión en un caldero existen de diferente tipo y su beneficio es alargar la vida útil de los refractarios que es en donde choca los gases de combustión. Ver **Figura 5**.

- Caldero de un paso
- Caldero de dos pasos
- Caldero de 3 pasos.



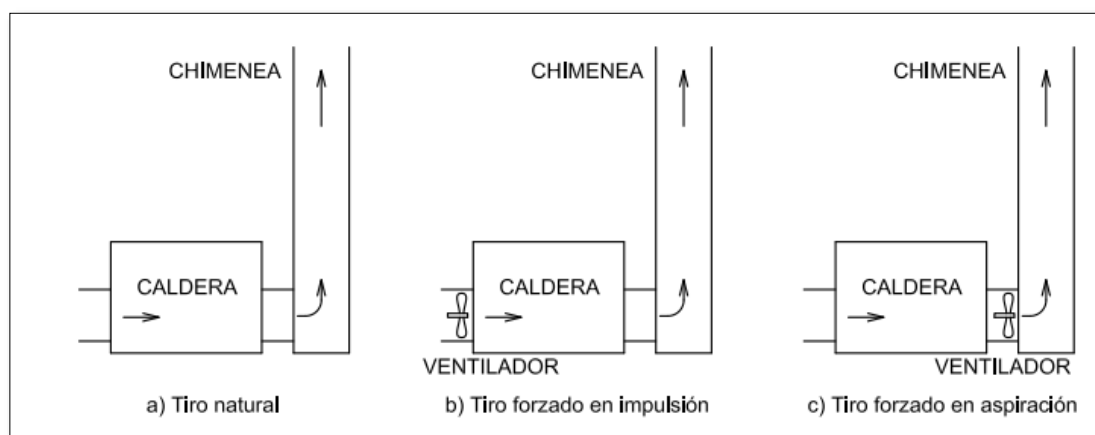
**Figura 5:** Número de pasos para los gases de combustión

Fuente:(Clayton, 2016)

### 2.2.2.4 Clasificación de calderos según el tipo de tiro.

Este tipo de clasificación se refiere al tipo de evacuación de los gases de combustión. Ver **Figura 6**

- Tiro natural
- Tiro forzado en impulsión
- Tiro forzado en aspiración



**Figura 6:** Clasificación de calderos según el tipo de tiro

Fuente: (Del & Une, 2017)

## 2.3 Sistemas Periféricos

Aquí se describen cada uno de los sistemas que componen el suministro para el caldero de agua de combustible, agua, vapor, gases de combustión y accesorios.

### 2.3.1 Sistema de alimentación de agua

Es el principal sistema periférico que posee un caldero de vapor para su funcionamiento debido a que suministra de agua, que posteriormente será convertido en vapor y funcionará como fluido de trabajo. Como se ha mencionado antes este sistema es el encargado de proveer agua al caldero de vapor en el momento que éste lo requiera, es decir que el sistema debe ser capaz de hacer que el agua ingrese al caldero independientemente de las condiciones de trabajo en las que se encuentre el caldero. **Figura 7.**



**Figura 7:** Sistema de alimentación de agua

### 2.3.1.1 Tratamiento de agua de alimentación

Un aspecto importante para el correcto funcionamiento de un caldero es el agua con que se está alimentando al sistema. Para poder generar un vapor de más alta calidad y que el equipo tenga una vida duradera y altamente eficiente, el agua de alimentación debe cumplir ciertos requisitos citados a continuación:

- Dureza
- PH
- Concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono
- Silicatos
- Sólidos disueltos

Los principales problemas que se presentan asociados al agua de alimentación se muestran en la

**Tabla 1.**

**Tabla 1.**

*Problemas asociados al agua de alimentación*

CARACTERÍSTICA	PROBLEMA	SOLUCIÓN
Dureza	Incrustaciones y depósitos	Ablandador de agua

Ph	Concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono Silicatos	Corrosión	Dosificación de químico
Sólidos disueltos	Sólidos suspendidos	Arrastres	Purgas de TDS y en suspensión
Concentración de materia orgánica			

### 2.3.1.1.1 Incrustaciones o Depósitos

El agua potable o de la red que puede ser tratada como agua dura contiene sales minerales disueltas, en su mayoría calcio y magnesio. Si se utilizara ésta agua dura para generar vapor, se originaría el desprendimiento o precipitación de éstas sales minerales en forma de capas adherentes al cuerpo del caldero, conocidas comúnmente como incrustación.

La incrustación en un caldero actúa como un aislante térmico como se puede ver en la **Figura 8**, que impide la transferencia de calor de los gases de combustión hacia el agua, haciendo ineficiente al caldero e incrementando el consumo de combustible.



**Figura 8:** Incrustaciones en calderos

### 2.3.1.1.2 Corrosión

En términos generales los principales factores que causan la corrosión en un caldero de vapor son:

- Los gases disueltos.
- Las condiciones ácidas o cáusticas del agua.

- Las altas temperaturas que aceleran el proceso de corrosión.

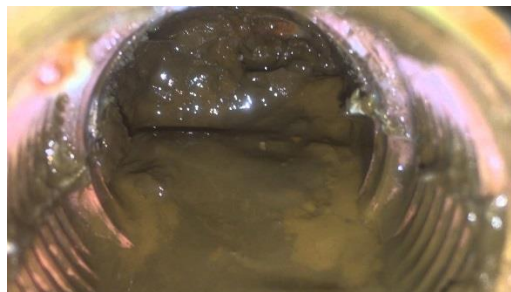
Como se mencionó anteriormente, el agua lleva consigo algunas sales minerales disueltas, pero también lleva gases disueltos, entre ellos el más importante para nuestro caso, es el oxígeno que es el principal causante de la corrosión en los calderos como se muestra en la **Figura 9**. Además, por otro lado, el agua potable o de red tiene un promedio un pH relativamente bajo (entre 7 y 8) por lo que se torna ácida para el sistema.



**Figura 9:** Corrosión en Calderos

#### 2.3.1.1.3 Arrastres

Otro inconveniente que se puede presentar en los calderos de vapor son los arrastres, los cuales suceden cuando las sales minerales o partículas suspendidas se mezclan con el vapor y son arrastrados por la línea de vapor como se muestra en la **Figura 10**. Estas partículas se conocen comúnmente como sólidos disueltos (forman lodos en el caldero) y sólidos en suspensión (ocasionan obstrucciones en las líneas de vapor).



**Figura 10:** Arrastre en calderos

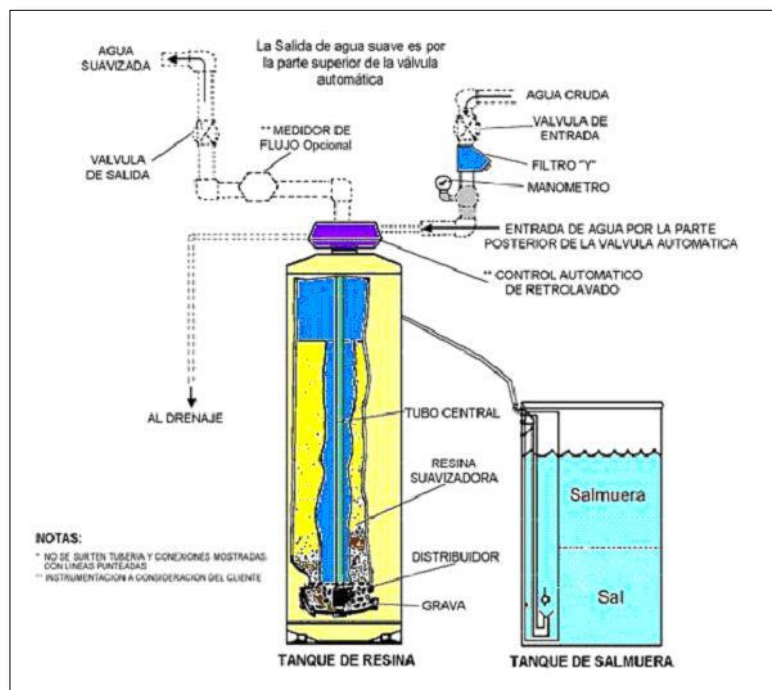
### 2.3.1.2 Ablandador de agua

Es un equipo comúnmente llamado suavizador de agua que se muestra en la **Figura 11**, éste equipo elimina la dureza del agua originada principalmente por la presencia de sales minerales de calcio y magnesio en el agua de red. En el caso particular del suavizador que posee la planta de vapor del DECEM logra suavizar el agua al hacer pasar el agua dura a través de una resina catiónica de alta capacidad que intercambia los iones de calcio y magnesio por los de sodio, que son más solubles en el agua, así evitando que los iones de calcio y magnesio se precipiten dentro del caldero ocasionando incrustaciones.

La resina no es de capacidad ilimitada por lo que llegará un punto en que se sature y no sea capaz de atrapar más iones de calcio y magnesio, razón por la cual es necesario realizar un proceso de regeneración mediante salmuera. El proceso de regeneración consiste en un proceso inverso a la suavización, lo que quiere decir que la resina ahora atrapa los iones de sodio de la salmuera y se desprenderá de los iones de calcio y magnesio para ser eliminados hacia un drenaje. Cabe señalar que esta regeneración se la puede planificar de dos formas:

- Por caudal de agua suavizado
- Por tiempo del suavizador encendido.





**Figura 11:** Ablandador de agua

Fuente:(Clayton, 2016)

### 2.3.1.3 Dosificación de químico

Primeramente, se debe tener claro que el suavizado o ablandador del agua de alimentación solo elimina las sales disueltas de calcio y magnesio, pero no agentes que causan la corrosión como los gases disueltos, principalmente el oxígeno. La solución a este problema es la adición de productos químicos que ajustan las características del agua para que sea segura su utilización.

Uno de los productos químicos utilizados está elaborado a base de sulfito catalizado que reacciona con el oxígeno disuelto en el agua, atrapándolo y formando sulfatos que luego deben ser eliminados mediante las purgas.

En la suavización del agua tampoco se elimina la característica ácida o cáustica que puede tener el agua de red por lo que otro químico que se debe utilizar para el acondicionamiento del agua de alimentación es uno a base de fosfatos que sea capaz

de mantener el pH del agua en un intervalo de 10.5 a 12 para evitar la corrosión ya sea ácida o cáustica.

Se debe tomar en cuenta que la dosificación de químico al agua de alimentación del caldero se debe realizar con una bomba de dosificación, que consiste en una bomba peristáltica como se muestra en la **Figura 12**, en la cual se regula su caudal de acuerdo a la necesidad que requiera el agua con que se alimenta el caldero.



**Figura 12:** Bomba de dosificación de químico

Fuente:(Clayton, 2016)

TESQUIMSA C.A. es una empresa especializada en la dosificación de químico para aguas de alimentación de calderos con una amplia y vasta experiencia en el mercado regional. Esta empresa asesoró sobre los parámetros necesarios y recomendados para el agua de alimentación del caldero FULTÓN, como se muestra en la

**Tabla 2.**

**Tabla 2.**

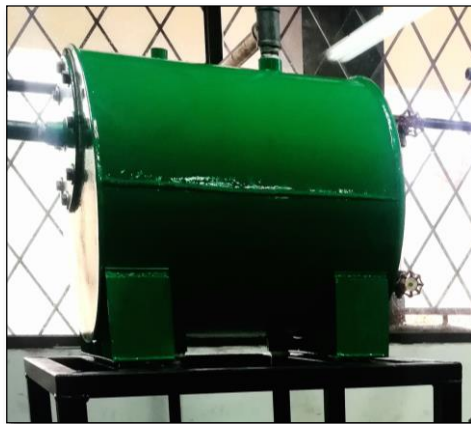
*Condiciones recomendadas por el agua de alimentación*

<b>PARÁMETRO</b>	<b>VALOR RECOMENDADO</b>
Dureza	0 ppm
Alcalinidad M (Hidróxidos)	500 - 700 ppm
Cloruros	Máximo 5 ppm
Fosfatos	30 -100 ppm
Solidos totales disueltos (TDS)	Máximo 3500 ppm
Sulfitos	25 - 100 ppm
Sílice	Menos de 125 ppm
Ph	10.5 - 12
Hierro	Menos de 5 ppm

Fuente (TESQUIMSA C.A., 2017)

### **2.3.2.1 Tanque de Condensado**

El tanque de condensado es un recipiente encargado de almacenar el agua de alimentación o reposición de la caldera, dentro de este ingresa el agua proveniente del ablandador o de la red como también el condensado que retorna de los equipos o tubería de vapor. Ver **Figura 13**.



**Figura 13.** Tanque de condensado

El tanque de condensado también sirve para recibir el tratamiento del agua de alimentación. El tipo de receptor utilizado depende de la cantidad y temperatura del retorno de condensado desde el sistema de vapor y/o el método preferido para remover el oxígeno. El tanque de condensado es un colector de agua acondicionada, donde el agua es tratada con compuestos químicos, y al cual retorna el condensado del sistema a través de las trampas.

Existen varios tipos de tanques de condensado como se detalla a continuación y las diferencias se detallan en la **Tabla 3**:

- Abierto o Atmosférico
- Desaereador
- Semi-Cerrado

**Tabla 3.**

*Tanques de condensado*

TIPO DE TANQUE	COSTO INICIAL	COSTO DE OPERACIÓN	DE DESARROLLO
Abierto o atmosférico	Bajo	Alto	Bajo
Semi-cerrado	Medio	Medio	Muy alto
Desaereador	Alto	Medio	Alto

Fuente: (Clayton, 2016)

Es importante el hecho de recuperar el condensado y almacenarlo junto con el agua de reposición por tres aspectos importantes como son:

- Se calienta el agua de almacenamiento mejorando la eficiencia del caldero ya que necesitará menos energía para calentar el agua y la tasa de generación de vapor será mayor.
- Al calentarse el agua del tanque de almacenamiento el choque térmico que sufrirá el caldero al momento de la alimentación de agua será menor, alargando la vida útil del mismo.
- Se reduce el tratamiento químico que se debe realizar al agua de alimentación ya que el agua estará en circulación y no se desperdiciará o se desechará, haciendo que ingrese más agua de reposición sin tratamiento químico.

### **2.3.3.1 Bomba de alimentación de agua**

Una bomba hidráulica es una maquina generadora, capaz de transformar una energía de entrada (generalmente energía mecánica), en energía de un fluido incomprensible en movimiento. Existen varios tipos de bombas hidráulicas utilizadas en alimentación de agua a calderos, entre ellos están los detalladas a continuación.

Bombas de desplazamiento positivo:

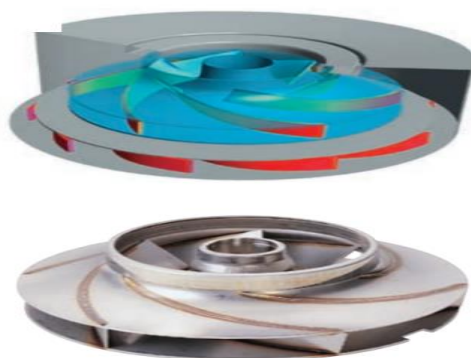
- De embolo
- Roto estáticas
  - Engranajes
  - Paletas
  - Tornillo

Bombas rotodinámicas:

- Centrífugas
  - Motobombas
  - De punta de eje libre

### 2.3.3.1 Bomba Centrífuga

Una bomba centrífuga es una bomba hidráulica que consta de un impulsor que gira al aplicar una energía mecánica. El fluido ingresa en la bomba y es dirigido hacia el centro del impulsor o rodete, como se muestra en la **Figura 14**, el cual al estar girando impulsando el fluido hacia el exterior con una presión mayor por acción de la fuerza centrífuga.



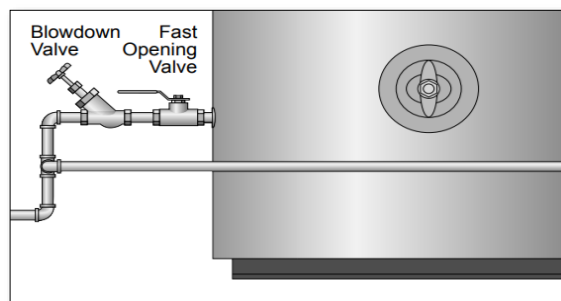
**Figura 14.** Impulsor de rodete  
de una bomba centrífuga

Fuente: Grundfos Literature 2017

### 2.3.4 Sistema de purgas del caldero

Como ya se ha mencionado repetidamente el agua de alimentación de un caldero contiene gases disueltos y principalmente sólidos disueltos, procedentes de la propia agua que no son retenidos en el ablandador y de los productos químicos para su tratamiento. Ya en funcionamiento, durante la evaporación, la concentración de total de sólidos disueltos (TDS) en el caldero aumenta considerablemente. Por esta razón si no se controlan los TDS, se producirá espuma en el espacio libre para la generación de vapor lo que causará arrastres y la contaminación del vapor transportado por el sistema.

Estos TDS se depositan en las superficies de intercambio y en equipo auxiliar afectando la eficiencia y productividad del caldero.



**Figura 15.** Purgas de un caldero

Fuente: Grundfos Literature 2017

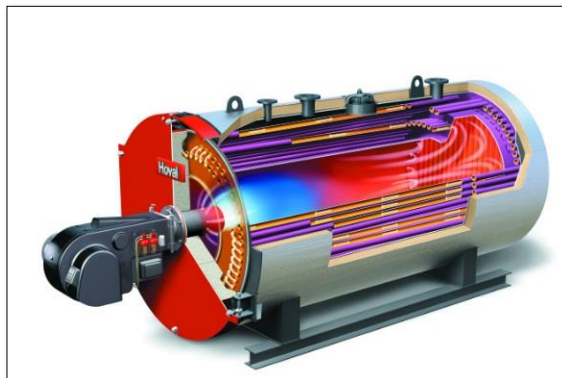
El sistema de purgas del caldero es un conjunto de tuberías y accesorios capaces de eliminar los TDS, esto se consigue abriendo una válvula de gran paso de accionamiento rápido y una válvula de accionamiento lento como se muestra en la **Figura 15**, situadas en la parte inferior del caldero durante unos pocos segundos. Esto permite la eliminación de una gran cantidad de agua y de TDS bajo la presión del caldero. Esta gran cantidad de agua con TDS se recomienda introducirla en un tanque de purga, especialmente diseñado para permitir que la mezcla se enfríe antes de drenar, sin embargo, también es aceptable realizar la descarga de las purgas en una fosa de purgas donde la gran cantidad de agua se enfriara y no causará posibles quemaduras a los operadores.

### 2.3.5 Sistema de alimentación de combustible

Es el sistema encargado de suministrar el combustible al quemador para que mediante su combustión genere la energía necesaria para convertir el agua en vapor, por esta razón es de suma importancia y se realizara el estudio de todos sus componentes.

#### 2.3.5.1 Quemadores

Los quemadores en los calderos tienen como objetivo principal el de mezclar y direccionar el flujo de combustible y de aire dentro de éste, de tal manera que se pueda asegurar un encendido rápido, estable y además que la combustión se realice por completo. En la **Figura 16** se muestra un quemador para caldero.

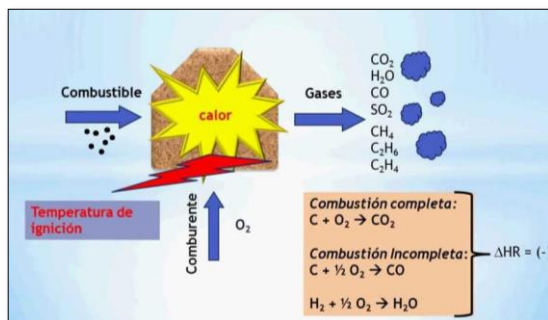


**Figura 16:** Quemador para Calderos

Fuente: Grundfos Literature 2017

### 2.3.5.1.1 Combustión

La Combustión es toda reacción química de oxidación relativamente rápida que genera desprendimiento de energía en forma de calor y luz además de otros residuos de combustión. Es necesario para que éste proceso se dé la presencia de un combustible, un comburente y calor como se muestra en la **Figura 17**. El material que es capaz de arder y se combina con el oxígeno, se conoce como combustible, generalmente los hidrocarburos. El oxígeno, elemento esencial para que se produzca y continúe el proceso de oxidación, se conoce como comburente.



**Figura 17.** Proceso de combustión

Fuente: Grundfos Literature 2017



### 2.3.5.1.2 Tipos de Quemadores

Existen varios tipos de quemadores industriales para calderos, que van en función de algunos parámetros:

- Por el combustible utilizado: se clasifican en quemadores para gas natural, diésel, petróleo y todos aquellos gases derivados del petróleo como el gas licuado de petróleo (GLP).
- Por la forma de operación, Se clasifican en tres clases: quemadores manuales, semiautomáticos y automáticos en función de los distintos grados de automatización del control de las funciones del dispositivo.
- Por la colocación del quemador con respecto a la caldera: es decir, a su disposición, se pueden clasificar en quemadores horizontales y quemadores verticales.
- Por el tipo de pulverización: se clasifican en quemadores de pulverización mecánica o por presión, pulverización asistida o de inyección de fluido auxiliar, pulverización centrífuga y de flujo paralelo

### 2.3.5 Sistema de distribución de vapor

Es el sistema encargado de conectar el caldero con los equipos dependientes de vapor. En este sistema se debe ser capaz de regular el caudal y la presión que sea necesaria para el funcionamiento de los equipos. El vapor generado por el caldero se distribuye en tuberías de vapor y es necesario diseñar este sistema con el fin de lograr las condiciones de proceso requeridas y reducir tanto como sean posible las pérdidas del sistema.

#### 2.3.5.1 Distribuidor de vapor

Conocido también como manifold de vapor es una parte muy importante en el sistema de distribución de vapor ya que se convierte en un pulmón de vapor que agrupa todas las válvulas de suministro de vapor a los equipos y reparte de forma adecuada la carga de vapor, como se puede observar en la **Figura 18**. El distribuidor también es útil dentro

en términos de ahorro energético, ya que pueden eliminar cargas no necesarias, siempre y cuando sean correctamente diseñados, por ejemplo, los diámetros de las tuberías de alimentación a los equipos no deben exceder los diámetros de la tubería de descarga del caldero ya que se excedería la carga.



**Figura 18.** Distribuidor de vapor

Fuente: Empresa Ferrero del Ecuador, 2016

### 2.3.5.2 Reductor de presión de vapor

Las reductoras de presión de vapor conocidas en general como válvulas reguladoras de vapor, funcionan comúnmente estrangulando el flujo de vapor que fluye por la válvula, reduciendo la presión del vapor por las pérdidas producidas en el estrangulador, se puede observar una en la **Figura 19**.



**Figura 19.** Reductora de presión

Fuente: Grundfos Literature 2017

### **2.3.5.3 Retorno de condensado**

Como se indicó inicialmente el vapor es el medio más común y más eficiente para el transporte de energía (calor) en la mayoría de procesos y plantas industriales. Es algo natural y esencial que los usuarios de vapor hagan el mejor uso posible de la energía y el agua caliente que hay en el vapor, por tanto, es importante la recuperación eficaz de condensado.

El condensado tiene por característica ser agua tratada caliente producida cuando el vapor libera su energía térmica. El condensado se convierte en un recurso que contiene aproximadamente el 25% de la energía útil que contiene el vapor al principio. Es por esta razón que se hace necesario hacer que este condensado regrese al caldero y no deshacerse de él. Puede ser que sea poco práctico retornar todo el condensado a la caldera, pero se trata de recolectar entre el 75% y 80% y tampoco se lo envía directamente a la caldera sino más bien al tanque de condensado.

#### **2.3.5.3.1 Trampas de vapor**

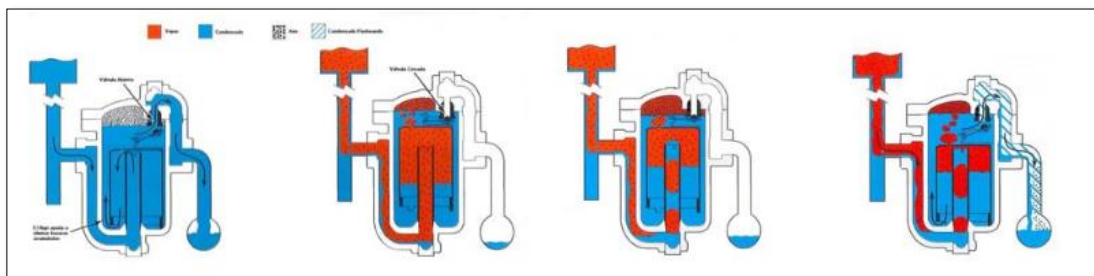
Al saber la importancia de la recuperación del condensado es necesario contar con un equipo que sea capaz de separar el vapor del agua caliente denominado trampa de vapor, además del problema de la acumulación de agua (la que provoca el golpe de ariete), es que cuando el vapor barre la superficie del agua, levanta parte de ésta, formando olas, las cuales se romperán, lanzando gotas de condensado sobre el flujo de vapor, haciéndolo húmedo y reduciendo con esto la transmisión de calor y la vida útil de las válvulas de control.

Una trampa de vapor, es una válvula automática, que realiza las funciones siguientes:

- Drena el condensado formado.
- Elimina el aire y los gases no condensables.
- Elimina cualquier suciedad presente en el vapor o los condensados.
- No permite el escape del vapor.

Existen varios tipos de trampas de vapor las que se muestran a continuación.

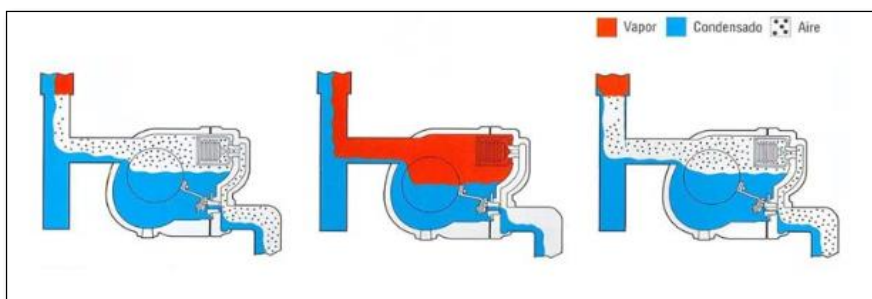
- Cubeta o balde invertido. - Basada en la diferencia de densidades entre el agua y el vapor, ver la **Figura 20**.



**Figura 20.** Funcionamiento trampa de balde invertido

Fuente: Grundfos Literature 2017

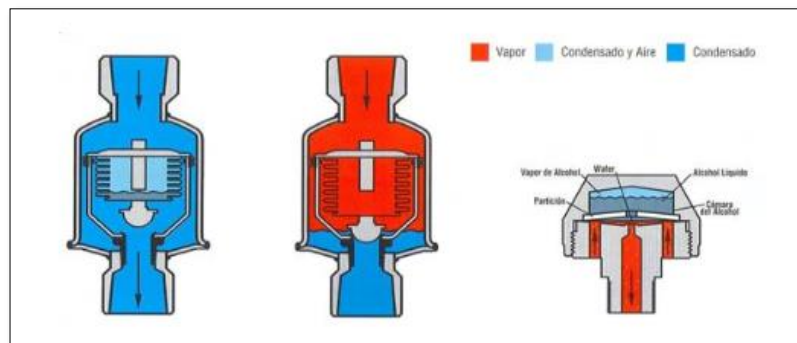
De flotador. - Es una trampa mecánica que funciona en base a densidad y temperatura, ver **Figura 21**.



**Figura 21.** Funcionamiento trampa de flotador

Fuente: Grundfos Literature 2017

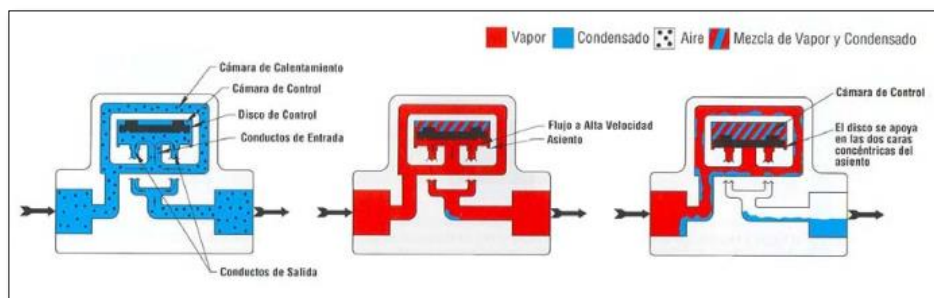
- Termostática. - Está basada en la diferencia de temperaturas del vapor, del agua y del aire libre, ver **Figura 22**.



**Figura 22.** Funcionamiento trampa termostática

Fuente: Grundfos Literature 2017

- Termodinámica. - conocida como trampa de disco controlado, su funcionamiento está basado en el cambio de presiones en la cámara donde se encuentra el disco controlado, ver **Figura 23**.



**Figura 23.** Funcionamiento trampa termodinámica

Fuente: Grundfos Literature 2017

### 2.3.6 Accesorios y válvulas utilizados en los sistemas periféricos

Para lograr implementar y construir los diferentes sistemas periféricos del caldero es necesario utilizar accesorios, dispositivos y válvulas que se detallaran en este capítulo.

### 2.3.6.1 Válvulas de esfera

Son válvulas o llaves de paso también conocidas como válvulas de media vuelta ilustrada en la **Figura 24**, que permiten regular el flujo de un fluido mediante el accionamiento de una palanca manual que hace girar internamente una esfera perforada, por esta razón su nombre de válvula de esfera. Cabe señalar que con estas válvulas no se tiene un control exacto del caudal que permite el paso por lo que se las usa principalmente para abrir o cerrar completamente el paso de algún fluido.



**Figura 24.** Válvula de esfera

Fuente: (Genebre  
Catalogo, 2018)

### 2.3.6.2 Válvulas de globo

Son válvulas que poseen un obturador en forma de cono accionado por en eje o vástago que es movido por un volante como se muestra en la **Figura 25**, su cuerpo tiene una forma de esfera. El flujo no es lineal como en el caso de la válvula de esfera, pero con esta válvula es posible controlar el caudal de mejor manera.



**Figura 25.** Válvula de globo

Fuente: (Helbert Catalogo, 2017)

### 2.3.6.3 Válvulas de compuerta

Son válvulas que poseen una compuerta ya sea circular o rectangular que permite el paso de un fluido. Esta compuerta es accionada por acción de un eje que a su vez entra en movimiento por la acción de un volante como se muestra en la **Figura 26**. Este tipo de válvulas es de accionamiento lento, pero no permite un control exacto del flujo por lo que normalmente son usadas como ON/OFF, Por lo que se recomienda usarla o mantenerlas siempre completamente abiertas o cerradas.



**Figura 26.** Válvula de compuerta

Fuente: (Genebre Catalogo, 2018)

#### 2.3.6.4 Válvulas check

Son válvulas que permiten el paso de fluido solo en un sentido, pero cierra automáticamente para evitar en flujo en sentido contrario, como se muestra en la **Figura 27**. Existen varios tipos como por ejemplo de compuerta móvil y de resorte horizontal o vertical.

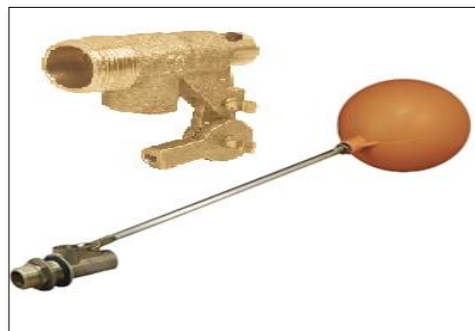


**Figura 27.** Válvula check

Fuente: (Pegler Yorkshire Catalogo, 2018)

#### 2.3.6.5 Válvula de Flotador

Es un tipo de válvula de corte que se acciona automáticamente por la acción de la fuerza que ejerce un eje con un flotador en el extremo al ser impulsado por el nivel del líquido, esta fuerza cierra una compuerta provista de un empaque de caucho EPDM. Ver **Figura 28**.



**Figura 28.** Válvula de flotador

Fuente: (Genebre Catalogo, 2018)



### 2.3.6.6 Filtro en Y

Es un accesorio por donde pasa el fluido, en el cual en su interior posee una malla que atrapa partículas extrañas principalmente suciedad o restos de óxido. Este accesorio es importante ya que alarga la vida útil de equipos y accesorios que se encuentran aguas abajo de éste. Ver **Figura 29**.



**Figura 29.** Filtro en Y

Fuente: (Genebre Catalogo, 2018)

### 2.3.6.7 Visor de nivel

Son indicadores que tienen por finalidad mostrar a través del tubo de cristal en nivel aparente del agua dentro de la caldera sin la turbulencia que el agua tiene dentro de éste, funciona bajo el principio de vasos comunicantes. Un limitante es el espesor del tubo de cristal o el largo del mismo. El tubo de cristal se coloca en válvulas de aguja adecuadas para el trabajo como se muestra en la **Figura 30**.



**Figura 30.** Visor de nivel de  
agua

Fuente: (Genebre Catalogo, 2018)

### 2.3.6.8 Manómetro

Es uno de tipo Bourdon con glicerina, es un equipo utilizado para medir la presión de un fluido en este caso de agua de alimentación descargada por la bomba ver **Figura 31**.

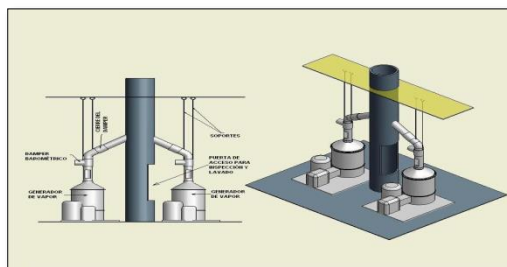


**Figura 31.** Manómetro

Fuente: (Genebre Catalogo, 2018)

### 2.3.7 Sistema de evacuación de gases de combustión

El sistema de evacuación de gases de combustión, es un elemento fundamental de los sistemas periféricos del caldero como se muestra en la **Figura 32**, su principal elemento es la chimenea pues tendrá la única misión de evacuar humos y gases generados en la combustión. Un diseño con tiro forzado, elimina la necesidad de una chimenea diseñada para crear el tiro. Se hace necesario definir previamente, ciertos parámetros que permitirán arribar al dimensionamiento de este conducto; los mismos se describen en el Capítulo IV.



**Figura 32.** Chimenea del caldero

Fuente: Grundfos Literature 2017

### 2.3.8 Sistema de control

Es el sistema encargado como su nombre lo dice de controlar el funcionamiento correcto del caldero y sus sistemas periféricos. En general se refiere al control de los siguientes aspectos mostrados en la **Tabla 4**.

**Tabla 4.**

*Funciones del sistema de control*

<b>CONTROL</b>	<b>PARÁMETRO DE CONTROL</b>
Encendido del quemador	Nivel mínimo de agua Presión del caldero
Funcionamiento del quemador	Detección de llama
Bomba de alimentación	Nivel de agua
Válvula de seguridad	Presión del caldero

### 2.3.2 Caldero FULTON

FULTON es una empresa que se ha venido desarrollando desde alrededor de los años de 1949, en el diseño, construcción y exportación de lo que en ese tiempo era algo quizá muy novedoso para la industria, en vista que para ese entonces tener una caldera para un proceso industrial exigía correr un riesgo, por mismo echo del poco avance que hasta el momento se ha tenido en cuanto se refiere a tecnologías, al no contar con un sistema completo de seguridad o como hoy en día, un caldero está construido bajo altos estándares de fabricación como ASME, y dando una alta fiabilidad a sus clientes para poder confiar en la mencionada marca, de esta manera en esta sección vamos a realizar una breve descripción del caldero FULTON de 15 BHP.

Entre las principales características que se destacan del caldero que posee el laboratorio del DECEM, es que es un caldero pirotubular, es decir que los gases de

combustión se encuentran localizados por la parte interna de los tubos, en este caso nuestro caldero no posee tubos, simplemente el hogar con camisas las cuales aumentan el área de transferencia de calor, además el caldero tiene dos pasos, antes de la evacuación de los gases de combustión por la chimenea de tal manera que se pueda aprovechar de mejor manera el calor producido por la combustión.

### **2.3.4 Eficiencia de un caldero.**

La eficiencia de un caldero, expresado en términos sencillos equivale a la razón entre el calor absorbido y el calor evacuado en el equipo.

Para el cálculo de la eficiencia de un caldero existen dos métodos detallados a continuación:

- Método directo
- Método indirecto

#### **2.3.4.1 Método directo**

Por lo general en el cálculo por esta metodología, la eficiencia de un caldero viene expresada por la relación existente entre la energía ingresada al sistema, la que se utiliza para la transformación del agua en vapor y la energía suministrada por el combustible, definida de la siguiente ecuación 1:

$$n = \frac{\text{Calor que sale con el vapor producido}}{\text{calor suministrado por el combustible}} \quad (1)$$

#### **2.3.4.2 Método indirecto**

Para realizar el cálculo por este tipo de método aquí se tomarán en cuenta las diversas pérdidas de calor que se tienen en el sistema de esta manera ecuación 2:

$$n = (100 - \text{pérdidas})\% \quad (2)$$

En cuanto se refiere a pérdidas se puede tener las siguientes.

- Pérdidas de calor sensible en gases de combustión
- Pérdidas por combustión ineficiente

- Perdidas por transferencia de calor (Radiación)
- Perdida de calor por purgas, etc.

## CAPITULO III

### 3. Mantenimiento del caldero FULTON.

#### 3.1 Análisis primario y determinación del estado del caldero FULTON de 15 BHP N° B2607 mediante ensayos no destructivos

El análisis del estado del caldero FULTON se lo realizo en base a la teoría del equipo, información proporcionada por el fabricante, en manuales y broucheres, para poder comprender el diseño y el funcionamiento de cada accesorio o componente del equipo.

Mientras tanto que para garantizar una alta confiabilidad de la caldera y que se encuentre en óptimas condiciones para su operación se realizó una serie de ensayos no destructivos tales como:

- Medición de espesores por medio de ultrasonido convencional.
- Prueba hidrostática (antes y después del Mantenimiento Correctivo).
- Inspección visual

##### 3.1.1 Pruebas

Para conocer el estado actual de la caldera (antes del mantenimiento correctivo) se evaluará con una prueba de medición de espesores

##### 3.1.1.1 Medición de espesores por medio de ultrasonido convencional.

Para el análisis de la reducción de espesores de caldero se realiza una verificación mediante la medición de los diferentes espesores, dependiendo de la ubicación como se detalla a continuación: Conocemos por parte del fabricante el espesor del caldero tiene un espesor de 3/8" lo que aproximadamente es 10[mm].

Se utilizó un medidor de espesores de marca REED proporcionado por la empresa RETENA en el cual se realiza la medición de los espesores, arrojando valores entre 10[mm] y 11,2 [mm] **Figura 33** los mismos que eran los esperados en vista que en la inspección visual se observa que el caldero se encuentra oxidado.



**Figura 33.** Medidor de espesores

Una vez finalizado el ensayo por ultrasonido y al aceptar los valores arrojados por la misma, después de comparar la reducción del espesor con el espesor de diseño la diferencia entre ambas es de 1.2[mm], por lo que el caldero cumple con el espesor mínimo requerido por el diseño, resultado que nos permite continuar la instalación de los demás accesorios en los diferentes sistemas de suministro para el caldero.

Además, se realiza la prueba hidrostática para ver el estado actual de la caldera y así determinar los aspectos necesarios para realizar el mantenimiento correctivo, para lo cual se necesita conocer los siguientes conceptos importantes.

### **3.1.1.2 Prueba Hidrostática**

Pone a prueba su hermeticidad y se analiza la capacidad para sostener la presión durante un tiempo establecido, se puede utilizar agua y aire para como fluido de prueba.

### **3.1.1.3 Presión**

Es la fuerza aplicado de manera perpendicular sobre el área de contacto o superficie, comúnmente es expresada en [Psi] o en [Pa].

#### 3.1.1.4 Presión de diseño

Es la presión con la que se realizan los diferentes cálculos para obtener espesores y tamaños del tanque o tubería, siempre esta presión debe ser igual o mayor a la de operación.

#### 3.1.1.5 Presión de Operación

Aquella presión a la que demanda el proceso de producción, la real a la que la caldera funcionaria en condiciones normales.

#### 3.1.1.6 Presión de Prueba hidrostática

Es la presión máxima permisible que podría alcanzar el tanque o tubería. Para el cálculo de la prueba hidrostática se utilizaron las formulas establecidas por ASME VIII, DIV I, para lo cual utilizaremos la siguiente formula.

$$P_H = 1.5 P_O \quad (3)$$

Donde:

$P_H$ : Presion Hidrostática

$P_O$ : Presion Operación

Tenemos los siguientes datos del funcionamiento y de operación de la caldera, para lo que tomaremos los siguientes datos descritos a continuación.

Se requiere que el caldero trabaje a 60 [Psi], esta será nuestra presión de operación, esto en vista que el caldero alimentara dos máquinas diseñadas para trabajar a presiones inferiores a la de operación.

De esa manera se calculó la presión de la prueba hidrostática.

$$P_H = 1.5 \times (60 \text{ [Psi]})$$

$$P_H = 90 \text{ [Psi]}$$



Una vez calculada la presión de la prueba hidrostática, se procedió a cerrar herméticamente la parte del lado de agua para poder levantar la presión en el caldero, se cerraron todos los accesos al caldero Hand Hole en total 3, se coloca tapones en cada toma para poder hermetizar el caldero.

Una vez elevada la presión por medio de la bomba de alimentación de agua a 90[Psi], se le deja en estanqueidad por 6 horas, la prueba se da inicio a las 12h00 hasta las 18h00, se realiza la verificación de la presión y se puede visualizar en el manómetro que la presión se mantiene constante durante el tiempo establecido, **Figura 34**, es decir la parte interna que va almacenar el agua a altas temperaturas y presiones se encuentra en óptimas condiciones para su operación.



**Figura 34.** Presión Prueba  
Hidrostática

Fuente: Grundfos Literature 2017

Se realizó la descarga de la presión y se procede a realizar la inspección visual y estado actual de los elementos, partes y componentes de cada sistema para posteriormente realizar un mantenimiento correctivo.

### 3.3 Detección de defectos

#### 3.3.1 Inspección Visual de la Caldera

En primera instancia se hace un levantamiento de los sistemas de la caldera para poder establecer todos los puntos de inspección tales como:

- quemador
- Recipiente de control de nivel de agua de caldera.
- nivel de agua
- parte de agua
- parte de fuego

#### 3.3.2 Recipiente de control de nivel de la caldera

Para la inspección visual y determinación de averías se procede a desarmar los electrodos que componen este sistema de control, de tal manera que se desmonta los cuatro electrodos que son los encargados de enviar una señal por medio de conductividad eléctrica y así prender o apagar bomba de agua y quemador, se realiza el desmontaje de cada uno de ellos para conocer el estado actual. Ver **Figura 35**.



**Figura 35:** Desmontaje de electrodos del control de nivel.

Fuente:(Fulton, 2007)

### 3.3.2.1 Detalle inspección visual recipiente de control del nivel de agua

Una vez que se retira cada electrodo se puede apreciar que se encuentran oxidados, se encontraban rotos los aislantes cerámicos y la rosca para el montaje del electrodo se encuentra dañada.

Detalle de funcionamiento de cada electrodo, ver **Figura 36**,

- Electrodo A: Nivel superior de agua.
- Electrodo B: Nivel bajo de agua.
- Electrodo C: Nivel muy bajo de agua quien envía a apagar el quemador.
- Electrodo D: nivel de emergencia en caso que la caldera se quede sin nivel de agua, su ubicación es en el caldero (lado de agua).



**Figura 36.** Descripción de los electrodos del nivel de agua.

Fuente: (Fulton, 2007)

### 3.3.3 Lado de agua

Al igual en el sistema anterior se procede con el desmontaje de Hand hole del cuerpo de la caldera, para conocer el estado interno de la caldera (lado de agua). Ver **Figura 37**.



**Figura 37.** Conjunto  
Hand Hole

Fuente: Grundfos  
Literature 2017

#### 3.3.3.1 Detalle de la inspección visual.

Para poder desmontar los Hand Hole de la caldera se retira el conjunto, con una llave hexagonal de 1 ¼", ver **Figura 38** , así de los tres conjuntos para poder realizar la inspección visual, en donde se encuentra que las paredes de las internas del lado de agua se encuentran con oxido mas no con incrustaciones que sean graves.



**Figura 38.** Desmontaje  
de Conjunto Hand hole

Fuente: (Fulton, 2007)

### 3.3.4 Lado de fuego.

La inspección visual del lado de fuego se lo realiza desmontando la tapa del caldero y puertas de limpieza del hogar. Ver **Figura 39**.



**Figura 39.** Desmontaje  
tapa de caldera  
(Lado de Fuego).

Fuente: (Fulton, 2007)

#### 3.3.4.1 Detalle Inspección Visual.

Una vez retirada la tapa de la caldera se puede observar que los pasos del lado de fuego se encuentran excesiva suciedad y hollín. Ver **Figura 40**.



**Figura 40.** Puertas de  
Limpieza del Hogar.

Fuente: (Fulton, 2007)

### 3.3 Mantenimiento Correctivo.

En base a los datos encontrados en la descripción anterior 3.3 Detección de defectos, podemos realizar un mantenimiento correctivo de las partes y se puede realizar una corrección de las fallas que estos ocasionan a continuación se desglosaran por partes el mantenimiento que fue necesario.

#### 3.3.1 Mantenimiento recipiente de control de nivel de agua

En la inspección visual se determinó que los electrodos de nivel se encuentran en mal estado por lo que se realiza el cambio de los cuatro electrodos por electrodos nuevos. Ver **Figura 41**.



**Figura 41.** Electrodos de nivel de control de nivel de agua

Fuente: Grundfos Literature 2017

#### 3.3.2 Mantenimiento lado de agua.

En este caso se realiza un lavado de la parte interna con agua a presión de tal manera que se pueda purgar, residuos duros esto producto de la dureza del agua.

De la misma manera se cambian empaque de sellado de los conjuntos por empaque nuevos ver **Figura 42**.

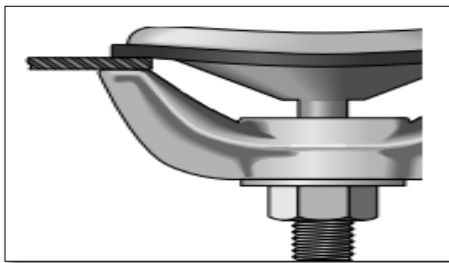


**Figura 42.** Empaque Hand  
Hole nuevos

Fuente: Grundfos Literature 2017

Cabe indicar que los empaque que permiten el sello de cada uno de los conjuntos Mann hole son de única vida, por lo que cada vez que se procede a desmontar los conjuntos estos serán cambiados por empaques nuevos.

Una vez realizado el mantenimiento de la parte interna de la caldera se procede a cerrar los conjuntos Hand hole, verificando que se encuentren centrados con respecto a los orificios de cada conjunto como se muestra en la **Figura 43** , para lo cual se coloca la placa del conjunto y se aprieta la tuerca de seguridad lo suficiente para poder proporcionar el ajuste perfecto, se verifica la posición de la placa en la caldera y se ajusta con la llave hexagonal  $\frac{1}{4}$  de vuelta, de tal manera que se garantice el sellado, sin comprimir de manera excesiva.



**Figura 43.** Posicionamiento de Hand Hole en caldera.

Fuente: (Fulton, 2007)

### 3.3.3 Mantenimiento lado de fuego.

El tener el paso de fuego sucio pueden causar restricciones en el paso del flujo, lo que ocasiona una ineficiente combustión y una pérdida de eficiencia de la combustión. Por lo que se realiza el siguiente mantenimiento.

Se realiza el llamado baqueteo que viene a ser la limpieza del ducto con un cepillo metálico en el canal por donde pasan los gases de combustión. Ver **Figura 44**.



**Figura 44.** Limpieza ducto de fuego.

Fuente: (Fulton, 2007)

De igual manera en el hogar se retiran los tapones de limpieza y se realiza el mismo proceso en la cámara de combustión retirando todo el hollín tanto de la parte superior como de las puertas de limpieza con una aspiradora.



### **3.3.4 Prueba hidrostática después del mantenimiento Correctivo.**

Una vez realizado el mantenimiento correctivo de los diferentes partes y componentes de la caldera, se realiza una segunda prueba hidrostática para verificar que la caldera se encuentra en óptimas condiciones para continuar con la instalación de los diferentes sistemas de suministro del mismo.

Se realiza la prueba se eleva la presión como se describió anteriormente y como resultado después de las 6 horas que la caldera pasa en estado de estanqueidad, se observa que la presión se mantiene por lo que el mantenimiento es un éxito de tal manera que se puede proceder con el montaje de los sistemas de suministro.

## CAPÍTULO IV

### DISEÑO MECÁNICO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE AGUA, ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE Y EVACUACIÓN DE GASES DE COMBUSTIÓN.

#### 4.1 Diseño del sistema de alimentación de agua

##### 4.1.1 Tratamiento del agua de alimentación

###### 4.1.1.1 Dosificación de químico

En el caso particular del caldero FULTÓN, no se dispone de una bomba de dosificación de químico, motivo por el cual la empresa TESQUIMSA C.A. recomienda inyectar una dosis fuerte inicial para llegar a las condiciones del agua de alimentación necesarias para cuidar el equipo de generación de vapor y tener una eficiencia aceptable. Los cálculos para saber la cantidad de químico que se debe inyectar inicialmente en el caldero se detallan a continuación.

Primero se debe calcular el volumen nominal del caldero mediante la ecuación 4:

$$\varphi \times \left( \frac{15.65 \text{ l/h}}{1 \text{ BHP}} \right) = \varphi \times 15.65 \frac{\text{l}}{\text{h}} \quad (4)$$

Donde:

$\varphi$  : Potencia nominal del caldero en BHP

Como dato principal se sabe que el caldero FULTÓN tiene una potencia nominal de 15 BHP, entonces luego de resolver la expresión anterior se tiene que el volumen nominal del caldero es:

$$15 \text{ BHP} \times \left( \frac{15.65 \text{ l/h}}{1 \text{ BHP}} \right) = 234.75 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$

Entonces se tiene que el volumen nominal del caldero FULTÓN es de 234.75 litros (62 galones o 0.234 metros cúbicos). Ahora mediante la recomendación de

TESQUIMSA C.A. se sabe que por cada metro cúbico de volumen nominal de un caldero se debe inyectar 2000 gramos de su producto químico puro conocido como ADL. Entonces se tiene lo siguiente:

$$ADL_{PURO\ NECESARIO} = 0.234\ m^3 \times 2000\ \frac{g}{m^3}$$

$$ADL_{PURO\ NECESARIO} = 469.5\ g$$

Por otra parte, la empresa TESQUIMSA C.A. ofrece su producto ADL en galones al 20% de concentración, con un costo de \$2.50 por litro de ADL disuelto al 20%. Con esta información se podrá calcular el volumen de producto necesario para la inyección inicial de dosificación de químico y su costo. Ver ecuación 5.

$$V_{PRODUCTO} = \frac{ADL_{PURO\ NECESARIO} \times 3.785\ l}{757\ g} \quad (5)$$

Donde:

$V_{PRODUCTO}$ : Volumen de producto químico necesario

$$V_{PRODUCTO} = \frac{469.5 \times 3.785\ l}{757\ g}$$

$$V_{PRODUCTO} = 2.348\ l$$

Ahora con este valor se puede sacar el costo del producto ver ecuación 6:

$$C_{PRODUCTO} = V_{PRODUCTO} \times \frac{\$2.50}{l_{PRODUCTO}} \quad (6)$$

Donde:

$C_{PRODUCTO}$ : Costo de producto químico necesario

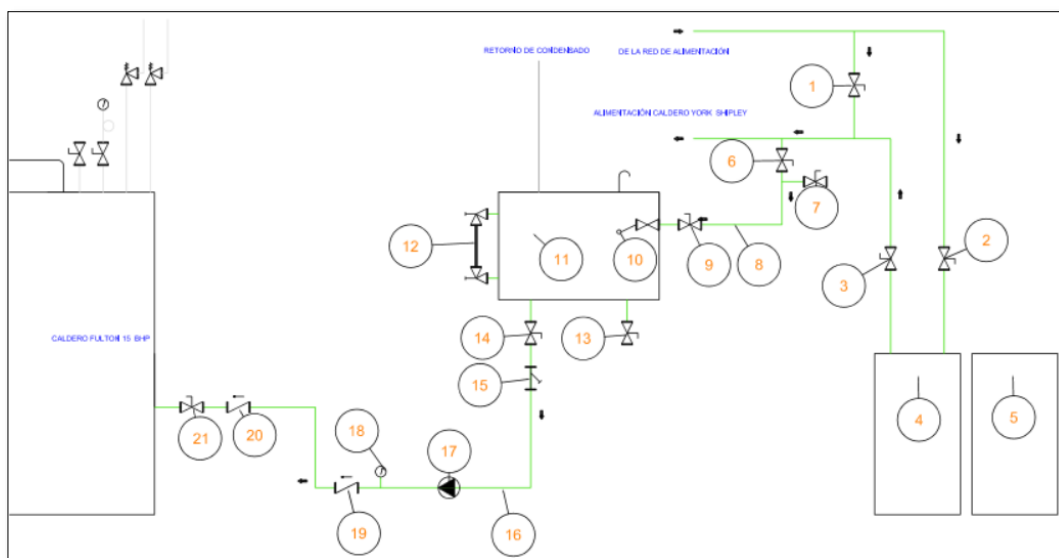
$$C_{PRODUCTO} = 2.348\ l \times \frac{\$2.50}{l_{PRODUCTO}}$$

$$C_{PRODUCTO} = \$5.68$$

#### 4.1.2 Diseño del sistema de alimentación de agua

Con la ayuda de la **Figura 45**, donde se muestra el diagrama unifilar del sistema de alimentación de agua se explicará el funcionamiento del mismo, de la misma manera con la

**Tabla 5** se detallará los elementos constitutivos del sistema.



**Figura 45.** Sistema de alimentación de agua caldero FULTON

El sistema inicia en la tubería de alimentación de agua de la red existente, de donde se toma una derivación para hacer pasar el agua por el ablandador (4) por medio de las válvulas de corte (2 y 3). Existe la válvula de corte (1) que sirve de bypass en caso de que la ablandadora sufra una descompostura y así no quedar sin alimentación de agua de red.

La salida del ablandador suministra agua ablandada tanto al caldero YORK SHIPLEY como al caldero FULTÓN, la alimentación al caldero FULTÓN se realiza por medio de la

válvula de corte (6), existe además una válvula de corte (7) que sirve de toma de muestras de agua. El agua de alimentación ingresa al tanque de condensados (11) por medio de la válvula de corte (9) y su llenado es controlado por la válvula de flotador (10). Éste tanque de condensado también dispone de un visor de nivel (12) para ayuda del operador. De la misma forma dispone de una válvula de corte (13) para purga del mismo.

En la tubería de descarga del tanque de condensado existe una válvula de corte (14) que sirve en caso de limpieza del filtro (15). La bomba succiona agua desde el tanque de condensado pasando por el filtro y luego finalmente descarga agua hacia el caldero, pasando por dos válvulas check (19 y 20) como es recomendable por el fabricante del caldero y la válvula de corte (21). Las válvulas check aseguran que la presión del caldero no retorne hacia la bomba, también se dispone de un manómetro (18) para el control del funcionamiento de la bomba. Ver

#### **Tabla 5.**

#### **Tabla 5.**

*Elementos constitutivos del sistema de alimentación de agua al caldero FULTON*

<b>N°</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
1	Válvula de bypass	Esfera, DN 1", PN 25
2	Válvula de ingreso al ablandador	Esfera, DN 1", PN 25
3	Válvula de salida del ablandador	Esfera, DN 1", PN 25
4	Ablandador	Catiónico
5	Tanque de salmuera	PVC
6	Válvula de alimentación principal	Esfera, DN 1", PN 25
7	Válvula de toma de muestras	Esfera, DN 3/4", PN 25
8	Tubería de agua	HN, SCH 40, NPS 1"
9	Válvula de ingreso al tanque de condensado	Esfera, DN 1", PN 25
10	Válvula de flotador tanque de condensado	DN 1", PN 40
11	Tanque de condensado	HN, t=4mm, 98 litros

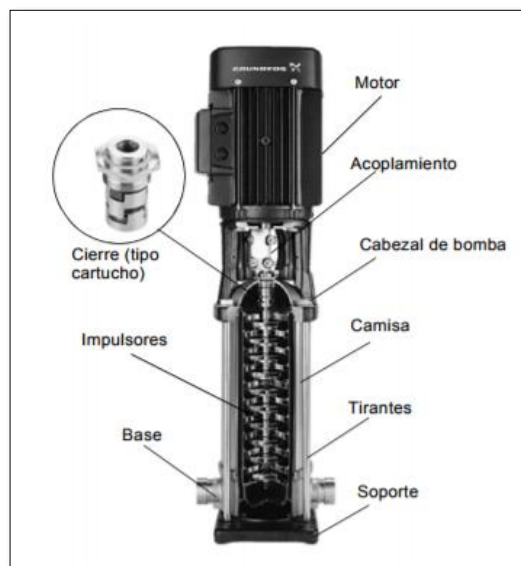
CONTINUA 

12	Visor de nivel	Tubo de vidrio
13	Válvula de purga de tanque de condensado	Esfera, DN 1/2", PN 25
14	Válvula de salida de tanque de condensado	Esfera, DN 1", PN 25
15	Filtro de agua	En Y, Malla 100, DN 1"
16	Tubería de agua	HN, SCH 40, NPS 1"
17	Bomba de alimentación de agua	Grundfos, 8 etapas
18	Manómetro	0 – 150 psi
19	Válvula check	DN 1", PN 40
20	Válvula check	DN 1", PN 40
21	Válvula de ingreso al caldero	Globo, DN 1", PN 40

El diseño del sistema se completa con el dimensionamiento y selección de elementos y accesorios necesarios para completar el circuito, los cuales se detallan a continuación.

#### 4.1.2.1 Bomba de alimentación de agua GRUNDFOS CR

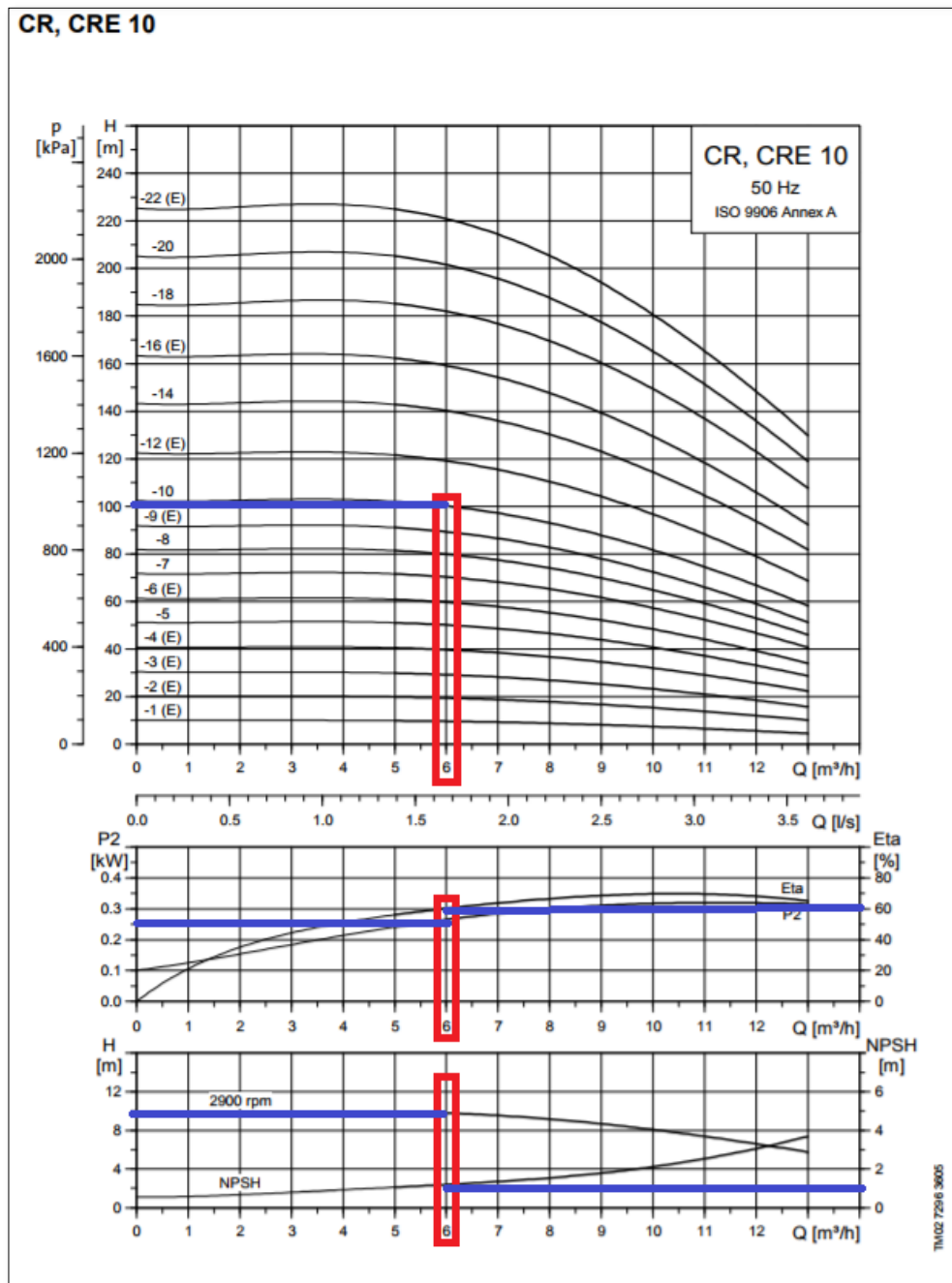
La bomba de alimentación de agua es un equipo encargado de suministrar el agua necesaria al caldero en los caudales y presiones que éste lo requiera. En cualquier caldero de generación de vapor la bomba de alimentación de agua es un equipo crítico y su selección correcta es indispensable para un correcto funcionamiento de éste. En un caldero de vapor es importante poder regular y controlar el funcionamiento de la bomba para mantener un nivel constante del agua en la caldera. En la mayoría de ocasiones se necesita vencer la presión de operación del caldero, motivo por el cual las bombas centrífugas son constituidas por varias etapas, como se muestra en la **Figura 46**; ya que con un solo impulsor sería imposible llegar a las presiones deseadas.



**Figura 46.** Bomba centrífuga multietapa

Fuente: (Fulton, 2007)

En el caso particular del caldero FULTON, éste dispone de una bomba centrífuga multietapa marca GRUNDFOS, modelo CR 10, cuyas características se detallará a continuación en la **Tabla 6** con la ayuda de las curvas características de la bomba mostradas en la **Figura 47**. Cabe señalar que la bomba de la cual se dispone es una del tipo donde las tomas de succión y descarga se encuentran desfasadas, pero es un modelo que ya no se fabrica por la marca, ya que ahora se fabrican con las tomas alineadas, más sin embargo las características son las mismas.



**Figura 47.** Curvas características de bomba Grundfos CR 10

Fuente: (Grundfos Literature, 2017)



**Tabla 6.***Características bomba GRUNDFOS CR 10*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	GRUNDFOS
Modelo	CR 10
Tipo	Centrífuga, sin cebado automático
Motor	3 x 220V, 1.5 KW
Etapas	10
Caudal	6 m <sup>3</sup> /h
NPSH	1 m
Altura de descarga	100 m
Potencia absorbida por cada impulsor	0.25 KW
Rendimiento	60%

El estado inicial de la bomba disponible para el caldero FULTÓN fue muy crítico debido al tiempo que los equipos estuvieron fuera de servicio, mas no debido a daños por mala operación o mal funcionamiento. Por esta razón se realizó un mantenimiento correctivo del equipo, en la

**Tabla 7** se detallan las acciones realizadas en dicho mantenimiento. En la **Figura 50**, se muestra el estado inicial y posterior al mantenimiento de la bomba.

Por último, se realizó una prueba de funcionamiento de la bomba, donde se probó que no existan fugas ni caídas de presión en la descarga de la bomba. Lo más importante es comprobar si la bomba es capaz de levantar la presión necesaria para vencer la presión de operación del caldero y así poder ingresar el agua de alimentación, razón por la cual se coloca una válvula de corte en la descarga de la bomba para estrangular el paso de agua y elevar la presión, que se visualizara con la ayuda de un manómetro como se muestra en la **Figura 49**, donde se puede observar que la bomba es capaz de levantar 10 bares de presión, suficiente para el trabajo a realizar. Un aspecto importante antes de encender la bomba es verificar el correcto cebado de la misma ya que este modelo no posee un cebado automático.



**Figura 49.** Prueba de funcionamiento



**Figura 48:** Levantamiento de la presión  
Fuente: Autores

**Tabla 7.**

*Acciones de mantenimiento correctivo realizado a la bomba GRUNDFOS CR 10*

COMPONENTE	ESTADO INICIAL	ACCIÓN CORRECTIVA
Motor	Excesiva suciedad	Limpiar
	Desbalanceado	Barnizar dieléctrico de devanados
		Cambiar de rodamientos
		Balancear dinámicamente
		Pintar carcaza
Acoplamiento motor-eje	Excesiva suciedad	Limpiar
	Desalineado	Alinear correctamente
Cuerpo	Excesiva suciedad	Limpiar
		Colocar empaquetadura
		Pintura de carcaza
Impulsores	Excesiva suciedad	Limpiar
Sello	Desgastado	Colocar nuevo sello
Tomas de succión y descarga	Excesiva suciedad	Limpiar
		Colocar empaquetadura
		Pintura de carcaza



**Figura 50.** Antes y después  
Bomba centrífuga multietapa  
GRUNFOS CR 10

#### 4.1.2.2 Tubería de agua

La tubería es el camino por donde el fluido se mueve. En este caso la tubería será fabricada en ASTM A106 grado B conocido como hierro negro (HN) con cedula SCH 40 con acoplamiento roscado, de igual manera los accesorios serán roscados de hierro negro clase 3000. El diámetro de la tubería se calculará de acuerdo al caudal y a la velocidad requerida por el sistema como se muestra a continuación.

El diámetro de una tubería se calcula con la ecuación 7:

$$d = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times \frac{Q_w}{3600 v}} \quad (7)$$

Donde:

$Q_w$  : Caudal volumétrico (m<sup>3</sup>/h)

$v$  : Velocidad del agua (m/s)

Como dato de inicio se tiene el caudal volumétrico que ofrece la bomba el cual es 6 (m<sup>3</sup>/h), además se tiene como dato las velocidades recomendadas para diseño de tuberías según la **Tabla 8**.

**Tabla 8.**

*Velocidades sugeridas para el cálculo*

FLUIDO	VELOCIDAD SUGERIDA	MATERIAL
Agua, servicio promedio	7 – 12 fps	Acero
Agua de alimentación de caldera	4 – 12 fps	Acero
Líneas de succión de bombas de agua	1 – 5 fps	Acero
Líneas de succión de bombas de fluidos viscosos	0.2 – 0.5 fps	Acero
Líneas de descarga de bombas de fluidos viscosos	0.5 – 2 fps	Acero
Vapor saturado de 0 a 30 psi	20 – 30 fps	Acero
Vapor saturado de 30 a 150 psi	30 – 60 fps	Acero
Ductos de corrientes forzadas	2500 – 3500 fps	Varios
Chimeneas	2000 fps	Varios

**Fuente:** (Ludwig, E, 1965)

Entonces se va a calcular el diámetro de la tubería de la descarga de la bomba teniendo como dato que la velocidad es 12 fps que equivale a 3.657 m/s.

$$d = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times \frac{6 \frac{m^3}{h}}{3600 \times 3.675 \frac{m}{s}}}$$

$$d = 0.024 \text{ m} = 24 \text{ mm}$$

Por lo que la tubería comercial será de NPS 1", donde se puede hallar el verdadero diámetro interno y se recalcula la velocidad verdadera del agua.

$$d = 26.6446 \text{ mm}$$

$$v = 2.9891 \frac{m}{s}$$

Se puede calcular también las caídas de presión con la ecuación 8:

$$\Delta p = \frac{f \times l_e \times v^2 \times \rho \times SG}{2d} \quad (8)$$

Donde:

$\Delta p$  : Caída de presión (Pa)

$f$  : Coeficiente de fricción

$l_e$  : Longitud equivalente de la tubería (m)

$\rho$  : Densidad (kg/m<sup>3</sup>). Densidad del agua es 1000 kg/m<sup>3</sup>

$SG$  : Gravedad específica. Gravedad específica del agua es 1

$d$  : Diámetro interno de la tubería (m)

$v$  : Velocidad del agua (m/s)

El coeficiente de fricción depende del tipo de flujo y se calcula de la siguiente forma:

Si el flujo es laminar ( $Re \leq 2000$ )

$$f = \frac{64}{Re} \quad (9)$$

Ahora bien, si el flujo es turbulento ( $Re \geq 4000$ ) o está en la zona de transición ( $2000 < Re < 4000$ ), es necesario utilizar el diagrama de Moody para determinar la relación entre el coeficiente de fricción ( $f$ ), el número de Reynolds ( $Re$ ) y la rugosidad relativa ( $\varepsilon/d$ ). Donde el parámetro  $\varepsilon$  depende del material. Para éste caso el material es hierro negro ( $\varepsilon = 0.07 \text{ mm}$ ). Entonces se tiene la rugosidad relativa como se muestra a continuación.

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{0.07}{26.6446}$$

$$\frac{\varepsilon}{d} = 0.002$$

El parámetro Reynolds se calcula de la ecuación 10:

$$Re = \frac{d \times v}{V} \quad (10)$$

Donde:

$d$  : Diámetro interno de la tubería (m)

$v$  : Velocidad del agua (m/s)

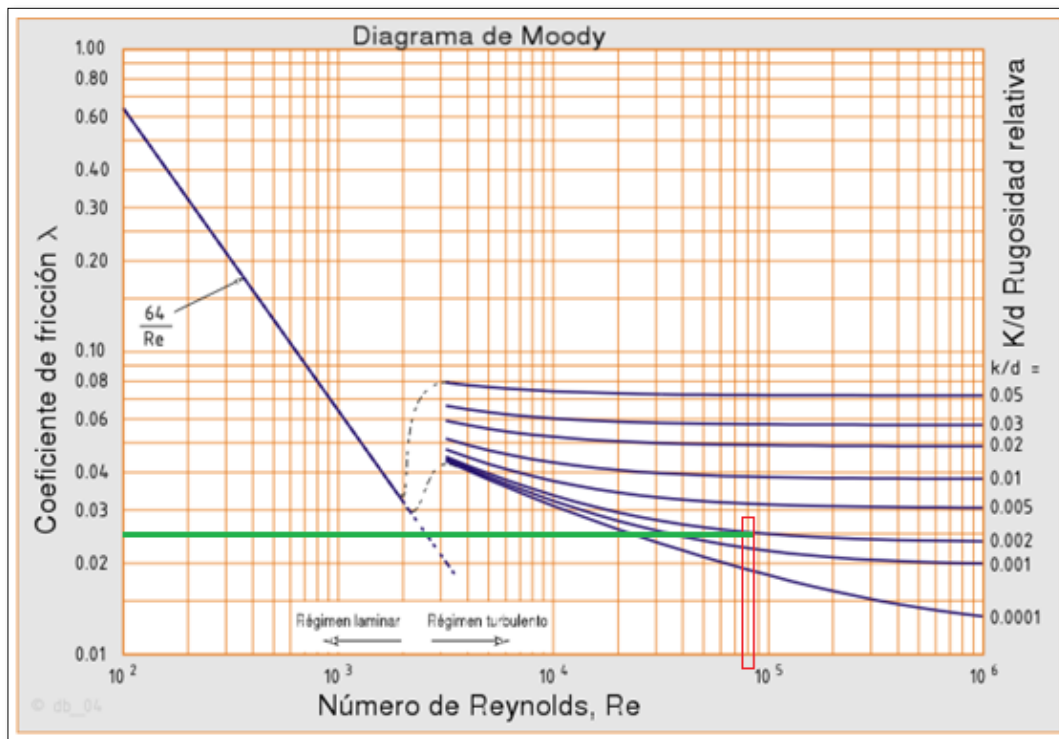
$V$  : Viscosidad cinemática (m<sup>2</sup>/s). Donde  $V = \frac{\mu}{\rho}$

Para el agua el valor de  $V = 1 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s, entonces Reynolds será:

$$Re = \frac{0.0266446 \times 2.9891}{0.000001}$$

$$Re = 79643 \approx 80000$$

Con los datos de Reynolds y de la rugosidad relativa ingresamos en la tabla para encontrar el valor del coeficiente de fricción en el diagrama de Moody mostrado en la **Figura 51**.



**Figura 51.** Diagrama de Moody para tubería de agua

**Fuente:** (Fulton, 2007)

De acuerdo al diagrama se puede señalar que el coeficiente de rozamiento es  $f = 0.025$ . Con éste dato y tomando en cuenta la longitud equivalente del sistema se puede calcular las pérdidas en la tubería ver ecuación 11. La longitud equivalente depende de los accesorios utilizados, pero realizar un estudio exhaustivo es muy extenso por lo que se tomara como longitud equivalente la longitud real de tubería más 5 metros en promedio por cada tramo de tubería por el tema de accesorios y válvulas.

$$\Delta p = \frac{f \times l_e \times v^2 \times \rho \times SG}{2d} \quad (11)$$

Entonces se tiene los siguientes resultados.

$$\Delta p = \frac{0.025 \times 7 \times 2.9891^2 \times 1000 \times 1}{2 \times 0.0266}$$

$$\Delta p = 29341.2 Pa = 29.3412 kPa = 4.25 psi$$

De la misma forma se calcula los diámetros de las tuberías de succión de la bomba y de entrada al tanque de condensado, obteniendo que todas las tuberías serán construidas en 1”.

Estos resultados se pueden corroborar con un software proporcionado por la marca TLV que se muestra a continuación en la **Figura 52** y las características de la tubería diseñada serán las mostradas en la

**Tabla 9.**

Introducir Datos		Unidades
Grado de Tubería	ANSI Sch40	
Longitud de la Tubería [?]	7	m
Rango de Flujo del Líquido	6	m³/h
Velocidad Máxima Permisible [?]	3.657	m/s
<a href="#">Mostrar Opciones Avanzadas</a>		
<input type="button" value="Calcular"/> <input type="button" value="Limpiar"/>		
Resultados		
Tamaño de Tubería	NPS1	
Diámetro Interno Tubería	26.6446	mm
Velocidad del Agua	2.9891	m/s
Caída de Presión	4.32806	psi
Longitud Equivalente a una Tubería Horizontal	7	m

**Figura 52:** Cálculo de tuberías con el software TLV



**Tabla 9**

*Características de la tubería del sistema de alimentación de agua*

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Material	ASTM A106 Gr B
Cedula	SCH 40
Diámetro nominal (NPS)	1"
Espesor	3.38 mm
Diámetro interno	26.64 mm

#### **4.1.2.3 Válvulas de esfera**

Se seleccionó este tipo de válvulas por que satisfacen las necesidades requeridas en el sistema como presión, reducción de caudal y principalmente son más económicas que cualquier otro tipo de válvula, sin mencionar que su montaje es muy simple, sus características se muestran en la **Tabla 10**.

**Tabla 10**

*Caracterización de las válvulas de esfera*

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Marca	GENEBRE
Extremos	Roscados
Material	Bronce
Diámetro nominal (DN)	½", ¾", 1"
Presión nominal de diseño (PN)	25 bares
Temperatura máxima	120° C

#### 4.1.2.4 Válvulas de globo

Esta válvula estaba disponible en la entrada del caldero por lo que se la mantuvo, no sin antes verificar su correcto funcionamiento, sus características se muestran en la **Tabla 11**.

**Tabla 11**

*Características de las válvulas de globo utilizadas en el sistema de alimentación de agua*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	HELBERT
Extremos	Roscados
Material	Bronce
Diámetro nominal (DN)	1"
Presión nominal de diseño (PN)	40 bares
Temperatura máxima	120° C

#### 4.1.2.5 Válvula check

En este caso se va a utilizar unas de compuerta y de posición horizontal ya que son las más económicas y satisfacen ampliamente las necesidades, sus características se muestran en la **Tabla 12**.

**Tabla 12**

*Características de las válvulas check utilizadas en el sistema de alimentación de agua*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	PEGLER YORKSHIRE
Extremos	Roscados
Material	Bronce
Diámetro nominal (DN)	1"
Presión nominal de diseño (PN)	25 bares
Posición de trabajo	Horizontal
Temperatura máxima	120° C

#### 4.1.2.6 Válvula de flotador

Se seleccionó este tipo de válvula para controlar el nivel del tanque de condensado de manera eficiente y barata, ya que si se realizaba un control del nivel con un sistema

de control electrónico el costo se elevaría en gran cantidad, sus características se muestran en la **Tabla 13**.

**Tabla 13.**

*Características de la válvula de flotador utilizada en el sistema de alimentación de agua*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	GENEBRE
Extremos	Roscados
Material	Bronce
Diámetro nominal (DN)	3/4"
Presión nominal de diseño (PN)	25 bares
Temperatura máxima	120° C

#### 4.1.2.7 Filtro de agua

En este caso el filtro ayuda a proteger la bomba de alimentación de agua al caldero, atrapando partículas que vienen del tanque de condensado y de la línea de alimentación, sus características se muestran en la **Tabla 14**.

**Tabla 14.**

*Características del filtro en Y utilizado en el sistema de alimentación de agua*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	GENEBRE
Extremos	Roscados
Material	Bronce
Malla	100 $\mu m$
Diámetro nominal (DN)	1"
Presión nominal de diseño (PN)	15 bares
Temperatura máxima	120° C

#### 4.1.2.8 Tanque de condensado

Como se revisó en el marco teórico existen tres tipos de tanques de condensado, en nuestro caso se seleccionó utilizar un tanque de condensado abierto o atmosférico por su costo y por la utilización que va a tener éste. El Sistema Abierto es aquél en el cual el agua de reposición o de la red, el retorno de condensado desde las trampas y tratamiento químico son enviados a un tanque almacenamiento de agua de alimentación atmosférico, (venteado a la atmósfera, sin presión y normalmente a baja temperatura).

Es importante el hecho de recuperar el condensado y almacenarlo junto con el agua de reposición por tres aspectos importantes como son:

- Se calienta el agua de almacenamiento mejorando la eficiencia del caldero ya que necesitará menos energía para calentar el agua y la tasa de generación de vapor será mayor.
- Al calentarse el agua del tanque de almacenamiento el choque térmico que sufrirá el caldero al momento de la alimentación de agua será menor, alargando la vida útil del mismo.
- Se reduce el tratamiento químico que se debe realizar al agua de alimentación ya que el agua estará en circulación y no se desperdiciará o se desechará, haciendo que ingrese más agua de reposición sin tratamiento químico.

El tamaño del tanque de condensado atmosférico es seleccionado o construido de acuerdo al volumen de agua de alimentación y al tiempo necesario que requiere el sistema para abastecer de agua al caldero. Para obtener el tamaño del tanque de condensado para el caldero FULTÓN se realizará los siguientes cálculos.

Al igual que para el tratamiento químico primero se debe calcular el volumen nominal del caldero mediante la siguiente ecuación 4:

$$\varphi \times \left( \frac{15.65 \text{ l/h}}{1 \text{ BHP}} \right) = \varphi \times 15.65 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$

Donde:

$\varphi$  : Potencia nominal del caldero en BHP

Como dato principal se sabe que el caldero FULTON tiene una potencia nominal de 15 BHP, entonces luego de resolver la expresión anterior se tiene que el volumen nominal del caldero es:

$$15 \text{ BHP} \times \left( \frac{15.65 \text{ l/h}}{1 \text{ BHP}} \right) = 234.75 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$

La reserva mínima de agua debe satisfacer la necesidad de agua de un tiempo de evaporación de aproximadamente 20 minutos, por lo que se toma una aproximación muy cercana para el 30% del volumen nominal calculado anteriormente. También hay que tomar en cuenta que el tanque no estará completamente ahogado en ningún momento por lo que se recomienda tener un espacio de aire del 25%.

$$V_{TAN \text{ CON}} = \frac{234.75 \frac{\text{l}}{\text{h}} \times 0.3 \text{ h}}{0.75}$$

Por lo que finalmente el volumen mínimo del tanque de condensados será el siguiente:

$$V_{TAN \text{ CON}} = 93.9 \text{ l}$$

El tanque de condensado al ser un atmosférico debe tener un respiradero en la parte superior del tanque detallado en el plano de construcción. Entonces el tanque construido mostrado en la **Figura 53**, para abastecer de agua al caldero y recolectar el caldero tiene las siguientes características que indica la 14.



**Figura 53.** Tanque de condensado

**Tabla 15.**

*Características del tanque de condensado*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	N/A
Tipo	Atmosférico
Material	ASTM A36
Espesor	4 mm
Diámetro	500 mm
Longitud	500 mm
Volumen	98 l
Altura de la base	1.5 m

#### 4.1.2.9 Visor de nivel

Sirve para visualizar el nivel de agua de alimentación disponible en el tanque de condensado, sus características se muestran en la

**Tabla 16.**

**Tabla 16***Características del visor de nivel*

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Marca	CONBRACO
Tipo	Tubo de cristal
Material	Bronce
Válvulas	Aguja, DN ½ "
Diámetro	15 mm
Longitud	10 ¼ "

**4.1.2.10 Manómetro**

En nuestro caso se va a utilizar un manómetro que tenga una un rango de 0 a 120 psi que es mayor a la presión máxima de operación del caldero y que la bomba deberá vencer para poder hacer ingresar el agua de reposición.

**Tabla 17.***Características del manómetro*

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Marca	GENEBRE
Tipo	Bourdon
Material	AISI 304
Conexión	Roscada NTP macho, ¼ "
Diámetro	63 mm
Rango	0-150 psi
Clase de precisión	cl. 1.6
Temperatura de trabajo	-15° C a 55° C

### 4.1.3 Instalación y montaje del sistema

Una vez que se ha diseñado, se ha seleccionado y se ha construido todos los componentes del sistema se procede a la instalación de todos estos y a la construcción de la tubería, esto se realiza con la ayuda de una maquina roscadora marca RIDGID como se muestra en la **Figura 54** y con la ayuda de los siguientes elementos mostrado en la **Tabla 18**.



**Figura 54.** Uso de roscadora  
RIDGID

**Tabla 18.**

*Características de los elementos para instalar la tubería del sistema de alimentación de agua*

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Rollo de cinta de teflón	Marca: GENEBRE Longitud: 50 m Espesor: 0.1 mm Ancho: 19 mm
Pinta de teflón líquido	Marca: GENEBRE Volumen: 50 ml
Llave de tubo	Marca: STANLEY Longitud: 12"



Nivel	Marca: STANLEY Tipo: Torpedo Magnético
Flexómetro	Marca: STANLEY Longitud: 5 m
Mordaza	Con trípode

Cada uno de los elementos mencionados se muestra en la

**Tabla 19.**

**Tabla 19.**

*Instrumentos para el montaje*

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
	Rollo de teflón
	Pinta de teflón líquido
	Llave de tubo
	Nivel torpedo



Flexómetro



Mordaza

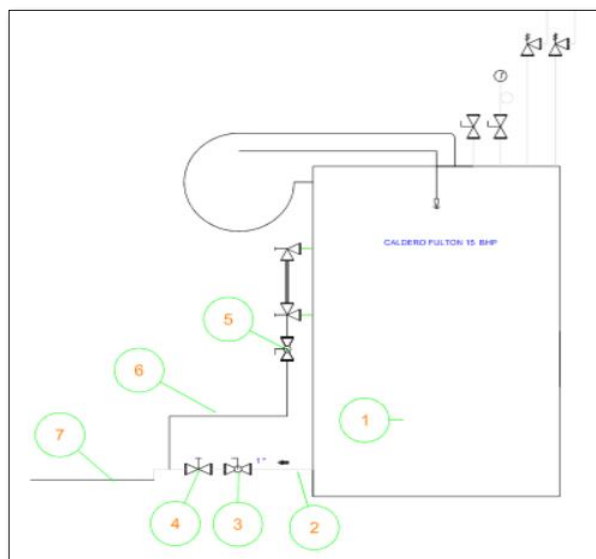
---

Toda la tubería de alimentación de agua conectada al Caldero debe ser adecuadamente fijada y soportada para asegurar que no haya tensión o carga excesiva en las conexiones de la tubería por lo que se usaran abrazaderas ancladas al piso o a la pared. La ruta de la tubería no debe ser obstruida o provocará algún riesgo de inseguridad potencial. Toda la tubería de alimentación de agua estará pintada como indica la norma INEN 440 que dice que las tuberías de agua fría se identificarán con el color VERDE.

## 4.2 Sistema de purgas del caldero

### 4.2.1 Diseño del sistema de purgas del caldero

Con la ayuda de la **Figura 55**, se muestra el diagrama unifilar del sistema de alimentación de purgas del caldero FULTÓN se explicará el funcionamiento del mismo, de la misma manera con la **Tabla 20**. *Elementos constitutivos del sistema de purgas del caldero FULTÓN* se detallará los elementos constitutivos del sistema.



**Figura 55:** Sistema de purgas del caldero FULTON

El sistema inicia en la parte baja del caldero (1), de aquí sale una tubería (2) que es la purga baja del caldero, la cual está conectada a la válvula de esfera (3) que sirve como purga rápida, y posteriormente a la válvula de compuerta (4) que sirve como purga lenta. A la salida de esta válvula de purga lenta se conecta una tubería (7) que es la que conduce las purgas a la fosa de enfriamiento de purgas.

Existe también la válvula de esfera (5) que sirve de válvula de purga del recipiente donde se mide el nivel de agua dentro del caldero, esta purga se transporta por la tubería (6) hacia la tubería de purga principal (7) que termina en la fosa de purgas.

**Tabla 20.**

*Elementos constitutivos del sistema de purgas del caldero FULTÓN*

N°	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
1	Caldero	FULTÓN
2	Tubería de purga baja	HN, SCH 40, NPS 1"
3	Purga rápida	Esfera, DN 1", PN 40

4	Purga lenta	Compuerta, DN 1", PN 40
5	Purga rápida del visor de nivel	Esfera, DN ½", PN 40
6	Tubería Purga rápida del visor de nivel	HN, SCH 40, NPS ½"
7	Tubería de purga principal	HN, SCH 40, NPS 1"

El diseño del sistema se completa con el dimensionamiento y selección de elementos y accesorios necesarios para completar el circuito, los cuales se detallan a continuación.

#### 4.2.1.1 Tubería de purga principal

La tubería es el camino por donde las purgas serán evacuadas del caldero. En este caso la tubería será fabricada en ASTM A106 grado B conocido como hierro negro (HN) con cedula SCH 40 con acoplamiento roscado, de igual manera los accesorios serán roscados de hierro negro clase 3000. El diámetro de la tubería no será calculado como para la tubería de alimentación de agua debido a que no se tiene datos de caudal y velocidad, ya que esto dependerá de la presión del caldero; razón por la cual se toma como diámetro calculado el diámetro de la toma de purga baja que es 1" que ya fue calculada por el fabricante del caldero.

Esto tiene sentido ya que no se puede colocar una tubería de menor diámetro ya que se restringirá el paso de agua de purgas, o si bien es el caso no se obtiene ninguna ganancia al aumentar el diámetro calculado por el fabricante ya que esto solo aumentara los costos, en la **Tabla 21** se muestra las características de la tubería de purgas.

#### Tabla 21.

*Características de la tubería del sistema de purgas del caldero FULTÓN*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Material	ASTM A106 grado B
Cedula	SCH 40
Diámetro nominal (NPS)	1"
Espesor	3.38 mm

Diámetro interno	26.64 mm
------------------	----------

#### 4.2.1.2 Tubería de purga del visor de nivel

En este caso la tubería será fabricada en ASTM A106 grado B conocido como hierro negro (HN) con cedula SCH 40 con acoplamiento roscado, de igual manera los accesorios serán roscados de hierro negro clase 3000. El diámetro recomendable para purga del visor de nivel es de ½”.

De igual manera en ésta no se puede colocar una tubería de menor diámetro ya que se restringirá el paso de agua de purgas, o si bien es el caso no se obtiene ninguna ganancia al aumentar el diámetro calculado por el fabricante ya que esto solo aumentara los costos, en la **Tabla 22** se muestra las características de la tubería de purgas.

**Tabla 22**

*Características de la tubería de la purga del visor de nivel*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Material	ASTM A106 grado B
Cedula	SCH 40
Diámetro nominal (NPS)	½”
Espesor	2.77 mm
Diámetro interno	15.7988 mm

#### 4.2.1.3 Válvulas de esfera

Las características de las válvulas de esfera seleccionadas se detallan a continuación en la **Tabla 23**.

**Tabla 23**

*Características de las válvulas de esfera utilizadas en el sistema de purgas del caldero*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	GENEBRE
Extremos	Roscados

Material	Bronce
Diámetro nominal (DN)	1/2", 1"
Presión nominal de diseño (PN)	40 bares
Temperatura máxima	120° C

#### 4.2.1.4 Válvula de compuerta

Las características de las válvulas de compuerta seleccionadas se detallan a continuación en la **Tabla 24**.

##### **Tabla 24.**

*Características de las válvulas de compuerta utilizadas en el sistema de purgas del caldero*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	GENEBRE
Extremos	Roscados
Material	Bronce
Diámetro nominal (DN)	1"
Presión nominal de diseño (PN)	40 bares
Temperatura máxima	120° C

#### 4.2.4 Instalación y montaje del sistema

Una vez que se ha diseñado, se ha seleccionado y se ha construido todos los componentes del sistema se procede a la instalación de todos estos y a la construcción de la tubería, esto se realiza con la ayuda de una maquina roscadora marca RIDGID y con la ayuda de los siguientes elementos mostrado en la **Tabla 25**.

##### **Tabla 25.**

*Características de los elementos para instalar la tubería*

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Rollo de cinta de teflón	Marca: GENE BRE Longitud: 50 m Espesor: 0.1 mm Ancho: 12 mm

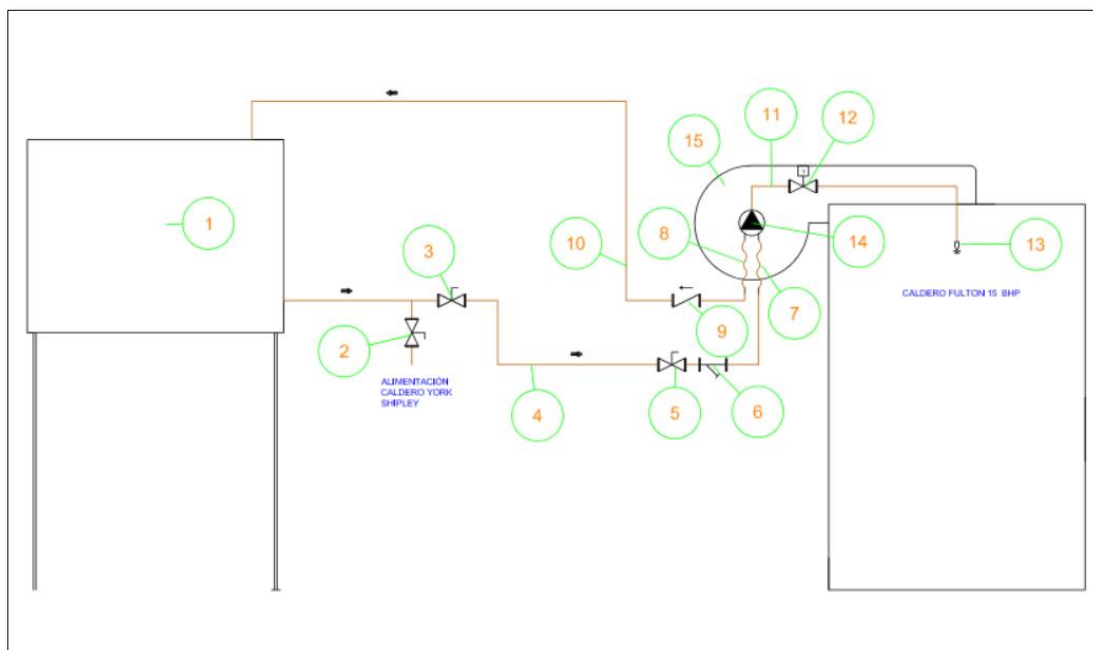
Pinta de teflón líquido	Marca: GENEBRE Volumen: 50 ml	
Llave de tubo	Marca: STANLEY Longitud: 12"	
Nivel	Marca: STANLEY Tipo: Torpedo Magnético	CONTINUA 
Flexómetro	Marca: STANLEY Longitud: 5 m	
Mordaza	Con trípode	

Toda la tubería de purgas del Caldero debe ser adecuadamente fijada y soportada para asegurar que no haya tensión o carga excesiva en las conexiones de la tubería por lo que se usaran abrazaderas ancladas al piso o a la pared. La ruta de la tubería no debe ser obstruida o provocará algún riesgo de inseguridad potencial. Toda la tubería de agua de purgas estará pintada como indica la norma INEN 440 que dice que las tuberías de agua caliente o vapor se identificarán con el color PLATEADO. (INORMA INEN 440, 1984)

### 4.3 Sistema de alimentación de combustible

#### 4.3.1 Diseño del sistema de alimentación de combustible

Con la ayuda de la **Figura 56**, donde se muestra el diagrama unifilar del sistema de alimentación de combustible se explicará el funcionamiento del mismo, de esa manera con la **Tabla 26** se detallará los elementos constitutivos del sistema.



**Figura 56:** Sistema de alimentación de combustible al caldero FULTÓN

El sistema inicia en el tanque de almacenamiento (1), conocido comúnmente como tanque de diario; aquí es donde se almacena el combustible aproximadamente para un día de consumo. De este tanque hay una línea de descarga, en la cual hay una derivación que permite el paso para los calderos YORK SHIPLEY y FULTÓN mediante las válvulas de corte (2 y 3) respectivamente. A la salida de la válvula de corte (3) se encuentra la tubería (4) que alimenta a la bomba de combustible (14) pasando por la válvula de corte (5) y el filtro de combustible (6).

La bomba de combustible se conecta mediante mangueras flexibles de alta presión tanto para la succión (7) como para el retorno al tanque de diario (8). La descarga de la bomba se conecta mediante una cañería de cobre (11) y pasa por una electroválvula (12) antes de llegar al tren de combustión y finalmente a la tobera de atomización (13) donde el combustible es atomizado para su combustión.



Como se mencionó, de la bomba de combustible posee una salida de retorno y que se conecta a una tubería (10) que lleva el retorno de combustible al tanque de diario. En ésta tubería existe una válvula check (9) que garantiza que el combustible no ingrese a la bomba por esta parte.

**Tabla 26**

*Elementos constitutivos del sistema de alimentación de combustible al caldero FULTÓN*

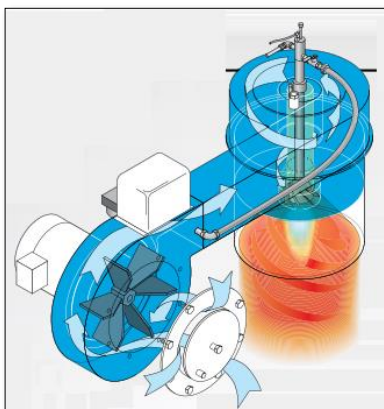
N°	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
1	Tanque de diario	N/A
2	Válvula de alimentación al caldero YORK SHIPLEY	Esfera, DN ½", PN 25
3	Válvula de alimentación al caldero FULTÓN	Esfera, DN ½", PN 25
4	Tubería de succión de la bomba de combustible	HG, SCH 40, NPS ½"
5	Válvula de alimentación al caldero FULTÓN	Esfera, DN ½", PN 25
6	Filtro de combustible	En Y, Malla 100, DN ½"
7	Manguera de succión	Flexible, DN ½"
8	Manguera de retorno	Flexible, DN ½"
9	Válvula check de la tubería de retorno	DN ½", PN 25
10	Tubería de retorno de la bomba de combustible	HG, SCH 40, NPS ½"
11	Cañería de descarga de la bomba	Cobre, DN ¼", Avellanado
12	Electroválvula de descarga de la bomba	Bronce, DN ¼", 110 V, NC
13	Tobera de atomización	3 GPH x 80°
14	Bomba de combustible	ITALPUMP G6
15	Quemador del caldero	FULTÓN

El diseño del sistema se completa con el dimensionamiento y selección de elementos y accesorios necesarios para completar el circuito, los cuales se detallan a continuación.

#### 4.3.1.1 Quemador FULTÓN

Luego de estudiar la clasificación de los quemadores para calderos podemos encasillar en un tipo de estos al quemador FULTON como se muestra en la **Figura 57** y en la

**Tabla 27.** Éste quemador forma parte del caldero.



**Figura 57.** Quemador FULTÓN

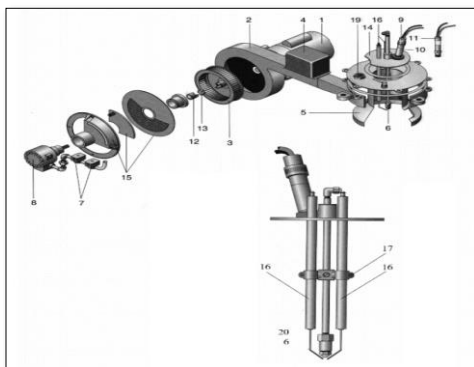
Fuente: (Fulton, 2007)

**Tabla 27.**

*Características del quemador*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	FULTÓN
Combustible	Diésel N°2
Operación	Automática
Colocación	Vertical
Pulverización	Por presión
Escalones de potencia	1
Motor	1 x 110V
Potencia	195 kW

El estado inicial del quemador fue bastante crítico ya que por el tiempo que el equipo estuvo fuera de funcionamiento y el medio ambiente ocasionaron graves daños en los elementos, motivo por el cual se realizó un mantenimiento correctivo del equipo. En la **Tabla 28** se detalla el estado inicial de los componentes como la acción realizada en cada uno de estos, y en la **Figura 58**, se puede observar los estados iniciales y finales del quemador.



**Figura 58.** Elementos del quemador FULTÓN

Fuente: (Fulton, 2007)

**Tabla 28**

*Estado inicial y operaciones en los elementos del quemador FULTÓN*

N°	ELEMENTO	ESTADO INICIAL	ACCIÓN CORRECTIVA
1	Motor del quemador	Operativo	Limpiar Barnizar    dieléctrico    de devanados
2	Carcaza o caracol	Existencia de suciedad	Limpiar
3	Ventilador	Desacoplado, desbalanceado	Limpiar Acoplar al eje del motor Balancear dinámicamente ( Ver <b>Figura 59</b> )
4	Transformador de ignición	Operativo	Limpiar
5	Difusor de aire	Existencia de suciedad	Limpiar
6	Tobera de atomización	Tapada	Reemplazar por una nueva (Ver <b>Figura 60</b> )
7	Electroválvula	Operativa	Limpiar
8	Bomba de combustible	No existe	Colocar una nueva
9	Fotocelda	Rota	Colocar una nueva

CONTINÚA →

(Ver <b>Figura 61</b> )			
10	Adaptador fotocelda	Existencia suciedad	de Limpiar
11	Fotocelda (Auxiliar)	No existe	Colocar un nuevo
12	Terminal de matrimonio	No existe	Colocar un nuevo
13	Matrimonio (Acople)	No existe	Colocar un nuevo (Ver <b>Figura 62</b> )
14	Plato del quemador	Existencia suciedad	de Limpiar
15	Clapetas de aire	Existencia suciedad	de Limpiar Calibrar posición
16	Electrodo de ignición	Existencia suciedad	de Limpiar Calibrar posición (Ver <b>Figura 63</b> )
17	Porta electrodos	Existencia suciedad	de Limpiar
18	Cerámica de electrodo	Operativo	Limpiar
19	Mirilla	No existe	Colocar nueva
20	Porta tobera	Existencia suciedad	de Limpiar



**Figura 59.** Ventilador  
desacoplado y desbalanceado

Fuente: (Fulton, 2007)



**Figura 60.** Tobera MONARCH

3 GPH x 80°

Fuente: (Fulton, 2007)



**Figura 61.** Fococelda BECKETT

C554A

Fuente: (Fulton, 2007)



**Figura 62.** Matrimonio Crown KK 100

Fuente: (Fulton, 2007)



**Figura 63.** Electrodos de ignición calibrados

Fuente: (Fulton, 2007)

ANTES



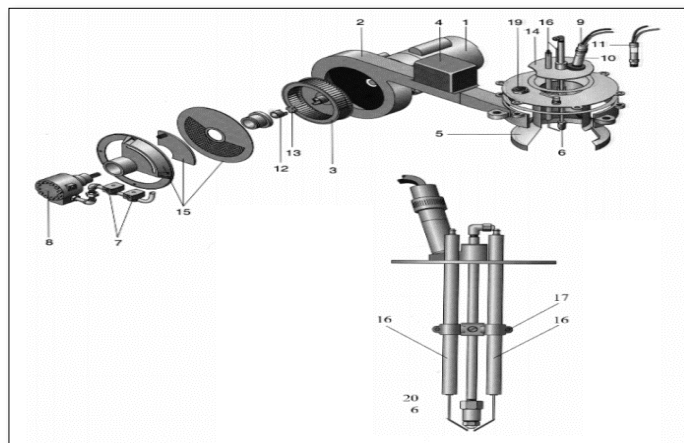
DESPUES



**Figura 64.** Quemador caldero FULTON disponible

Fuente: (Fulton, 2007)

Para poderlo detallar vamos a utilizar la ayuda de la **Figura 65** y la **Tabla 29**, donde se podrá ver tanto las partes como sus características.



**Figura 65.** Elementos del quemador FULTÓN

Fuente: (Instruction, Operation, and  
Maintenance Manual Fulton Oil Fired/Gas  
Fired Steam Boilers, 2013)

**Tabla 29.**

*Características finales de los elementos del quemador FULTÓN*

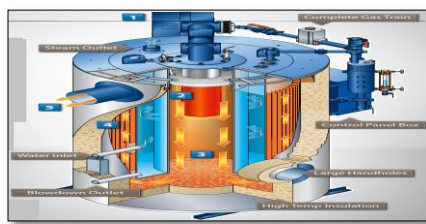
N°	ELEMENTO	CARACTERÍSTICA
1	Motor del quemador	1 x 110V, xxx HP
2	Carcaza o caracol	Aleación de aluminio
3	Ventilador	De paletas
4	Transformador de ignición	Salida 10000 V
5	Difusor de aire	Hierro fundido
6	Tobera de atomización	3 GPH x 80°
7	Electroválvula	110 V, paso reducido
8	Bomba de combustible	ITALPUMP G6
9	Fotocelda	Infrarrojo (IR)
10	Adaptador fotocelda	Plástico
11	Fotocelda (Auxiliar)	N/A
12	Terminal de matrimonio	Color plomo
13	Matrimonio (Acople)	Crown KK 100
14	Plato del quemador	Aleación de aluminio

CONTINUÍA →

15	Clapetas de aire	Regulable
16	Electrodo de ignición	Longitud: 25 cm
17	Porta electrodos	Hierro fundido
18	Cerámica de electrodo	Aislante
19	Mirilla	Vidrio templado
20	Porta tobera	Bronce

Una vez determinado las características del quemador es necesario detallar cómo funciona el sistema de combustión en el caldero FULTÓN, ver **Figura 66**.

1. El aire se introduce en el quemador donde se mezcla con el combustible para una combustión óptima.
2. El conjunto de ignición enciende la mezcla de aire / combustible y envía una llama ciclónica giratoria a lo largo de la cámara del horno.
3. Los gases de combustión calientes viajan uniformemente longitud de la cámara del horno, formando el primer paso.
4. Los gases de combustión chocan en la base de la cámara y vuelven sobre las aletas de convección de calor que rodean toda la camisa de agua. Este es el segundo paso, que transfiere calor adicional al agua en el recipiente.
5. Los gases de combustión se recogen en la parte superior de la caldera y se expulsan a través de la salida a la chimenea.



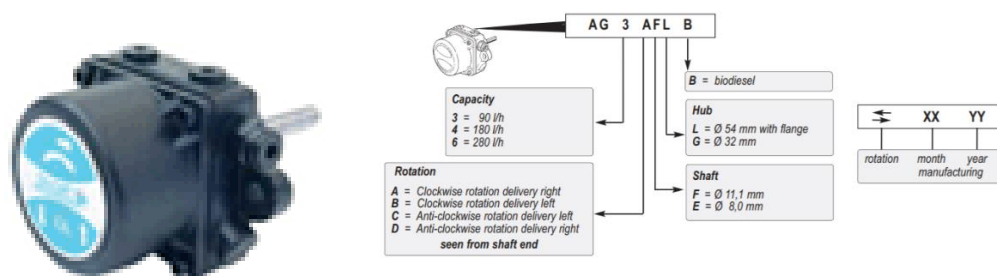
**Figura 66.** Combustión en el caldero FULTÓN

Fuente: (Fuel-Fired Vertical Tubeless Boilers, 2013)



#### 4.3.1.2 Bomba de combustible

La bomba de combustible es el elemento encargado de suministrar y elevar la presión de combustible a la presión adecuada para que la tobera sea capaz de atomizar el combustible que se mezclará con el oxígeno para producir la combustión. La bomba de combustible seleccionada por la potencia del quemador es una ITALPUMP G6 que se muestra en la **Figura 67**, donde también está la forma en que se las reconoce.



a) Bomba ITALPUMP G6

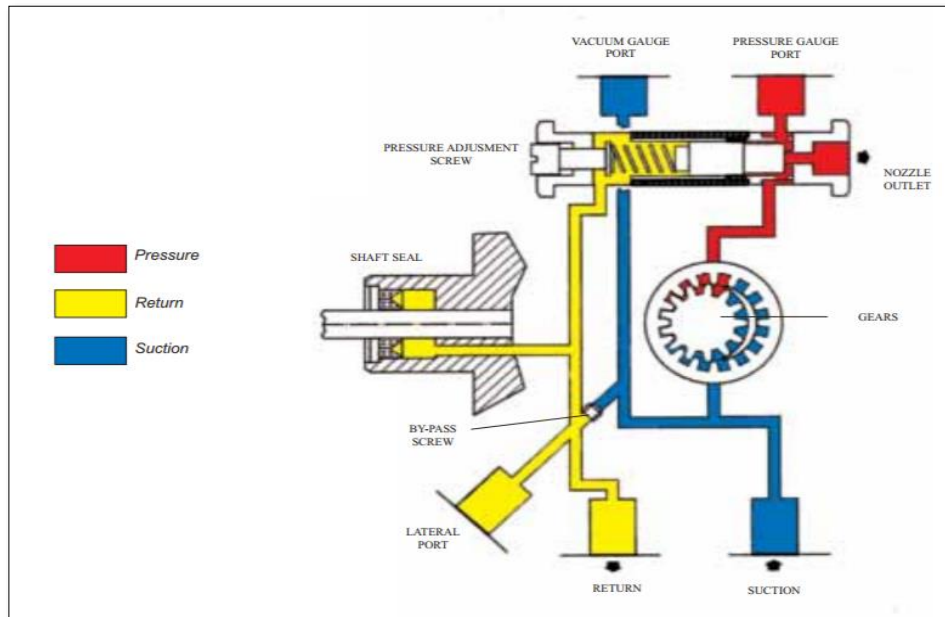
b) Identificación de las bombas ITALPUMP

**Figura 67.** Bomba de combustible ITALPUMP G6

Fuente: (Italpump catálogo, 2017)

La bomba de combustible es una bomba de sentido de giro horario, en ésta el vacío de succión generado por los engranajes succiona el combustible a través de la tubería de succión, cruza el filtro y el combustible se envía bajo presión al tornillo de ajuste de presión. La válvula hidráulica se abre cuando la presión del aceite supera la fuerza del resorte establecida por el tornillo de ajuste de presión y el combustible alcanza la descarga hacia la tobera, como se muestra en la **Figura 68**. Cuando es conectada con un sistema de retorno, el exceso de combustible fluye hacia el tanque de diario a través de la línea de retorno. Si se conecta la bomba sin retorno, se debe quitar el tornillo de derivación, el exceso de combustible regresa a los engranajes.

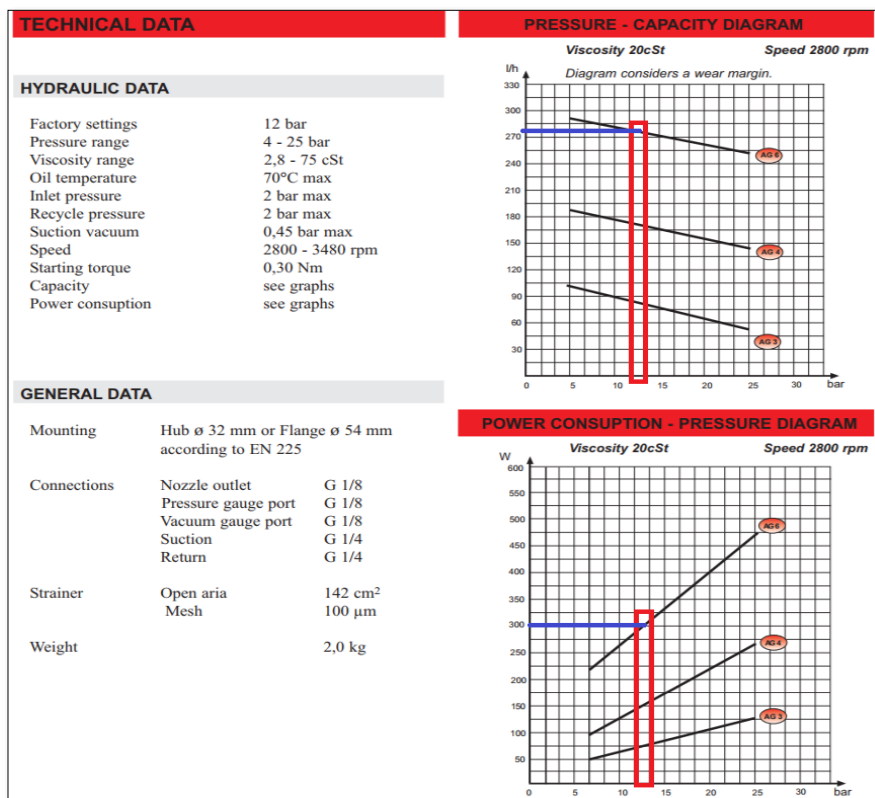
Cuando el quemador se detiene, la presión del combustible baja inmediatamente y la fuerza del resorte mueve el pistón que detiene el flujo de fluido a la línea y al mismo tiempo permite el reenvío del combustible ligero a la línea de retorno.



**Figura 68.** Funcionamiento bomba de combustible ITALPUMP G6

**Fuente:** (Fulton, 2007)

Las características de la bomba de combustible seleccionada se muestran en la **Figura 69.**



**Figura 69.** Características de la bomba de combustible  
ITALPUMP G6

Fuente: (Italpump catálogo, 2017)

#### 4.3.1.3 Tubería de combustible

La tubería es el camino por donde el fluido se mueve. En este caso la tubería será fabricada en ASTM A53 galvanizado conocido como hierro galvanizado (HG) con cedula SCH 40 con acoplamiento roscado, de igual manera los accesorios serán roscados de hierro galvanizado clase 3000. El diámetro de la tubería se calculará de acuerdo al caudal y a la velocidad requerida por el sistema como se muestra a continuación.

El diámetro de una tubería se calcula con la ecuación 7:

$$d = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times \frac{Q_w}{3600 v}}$$

Donde:

$Q_w$  : Caudal volumétrico ( $m^3/h$ )

$v$  : Velocidad del agua (m/s)

Como dato de inicio se tiene el caudal volumétrico que ofrece la bomba el cual es 0.28 ( $m^3/h$ ), además se tiene como dato las velocidades recomendadas para diseño de tuberías según la **Tabla 8**.

Entonces se va a calcular el diámetro de la tubería de la descarga de la bomba teniendo como dato que la velocidad es 4 fps que equivale a 0.6096 m/s.

$$d = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times \frac{0.28 \frac{m^3}{h}}{3600 \times 0.6096 \frac{m}{s}}}$$

$$d = 0.0127 m = 12.7 mm$$

Por lo que la tubería comercial será de NPS ½", donde se puede hallar el verdadero diámetro interno y se recalcula la velocidad verdadera del diésel.

$$d = 15.7988 mm$$

$$v = 0.3968 \frac{m}{s}$$

Se puede calcular también las caídas de presión con la ecuación 11:

$$\Delta p = \frac{f \times l_e \times v^2 \times \rho \times SG}{2d}$$

Donde:

$\Delta p$  : Caída de presión (Pa)

$f$  : Coeficiente de fricción

$l_e$  : Longitud equivalente de la tubería (m)

$\rho$  : Densidad ( $\text{kg/m}^3$ ). Densidad del diésel es  $837 \text{ kg/m}^3$

$SG$  : Gravedad específica. Gravedad específica del diésel es 0.837

$d$  : Diámetro interno de la tubería (m)

$v$  : Velocidad del diésel (m/s)

El coeficiente de fricción depende del tipo de flujo y se calcula de la siguiente forma:

Si el flujo es laminar ( $Re \leq 2000$ )

$$f = \frac{64}{Re}$$

Si el flujo es turbulento ( $Re \geq 4000$ ) o está en la zona de transición ( $2000 < Re < 4000$ ), es necesario utilizar el diagrama de Moody para determinar la relación entre el coeficiente de fricción ( $f$ ), el número de Reynolds ( $Re$ ) y la rugosidad relativa ( $\varepsilon/d$ ). Donde el parámetro  $\varepsilon$  depende del material. Para éste caso el material es hierro galvanizado ( $\varepsilon = 0.07 \text{ mm}$ ). Entonces se tiene la rugosidad relativa como se muestra a continuación.

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{0.07}{15.7988}$$

$$\frac{\varepsilon}{d} = 0.005$$

El parámetro Reynolds se calcula de la siguiente forma:

$$Re = \frac{d \times v}{\nu}$$

Donde:

$d$  : Diámetro interno de la tubería (m)

$v$  : Velocidad del diésel (m/s)

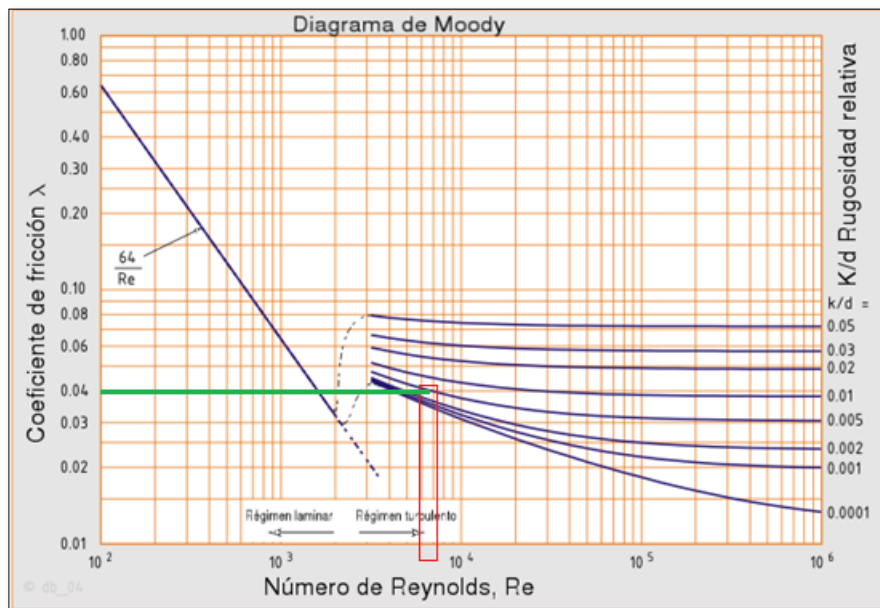
$V$  : Viscosidad cinemática (m<sup>2</sup>/s). Donde  $V = \frac{\mu}{\rho}$

Para el diésel el valor de  $V = 1.2 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s, entonces Reynolds será:

$$Re = \frac{0.0157988 \times 0.39675}{0.000001}$$

$$Re = 6343.24 \approx 6500$$

Con los datos de Reynolds y de la rugosidad relativa se entra en la tabla para encontrar el valor del coeficiente de fricción en el diagrama de Moody mostrado en la **Figura 70**.



**Figura 70.** Diagrama de Moody para tubería de combustible

**Fuente:** (Fulton, 2007)

De acuerdo al diagrama se puede señalar que el coeficiente de rozamiento es  $f = 0.04$ . Con éste dato y tomando en cuenta la longitud equivalente del sistema se puede calcular las perdidas en la tubería. La longitud equivalente depende de los accesorios utilizados, pero realizar un estudio exhaustivo es muy extenso por lo que se tomara como longitud equivalente la longitud real de tubería más 5 metros en promedio por cada tramo de tubería por el tema de accesorios y válvulas. Ver **Ecuación 11**.

$$\Delta p = \frac{f \times le \times v^2 \times \rho \times SG}{2d}$$

Entonces se tiene los siguientes resultados.

$$\Delta p = \frac{0.04 \times 25 \times 0.39675^2 \times 837 \times 0.837}{2 \times 0.0157988}$$

$$\Delta p = 3490 \text{ Pa} = 3.49 \text{ kPa} = 0.5 \text{ psi}$$

De la misma forma se calcula los diámetros de las tuberías de retorno, obteniendo que todas las tuberías serán construidas en  $\frac{1}{2}$ ".

Estos resultados se pueden corroborar con un software proporcionado por la marca TLV que se muestra a continuación en la **Figura 71** y las características de la tubería diseñada serán las mostradas en la **Tabla 30**.

Unidades SI(bar) ▼

Grado de Tubería	ANSI Sch40	▼
Longitud de la Tubería [?]	25	m ▼
Rango de Flujo del Liquido	0.28	m³/h ▼
Velocidad Máxima Permisible [?]	0.6096	m/s ▼

[Mostrar Opciones Avanzadas](#)

Calcular
Limpiar

**Resultados**

Tamaño de Tubería	NPS1/2	
Diámetro Interno Tubería	15.7988	mm ▼

**Figura 71.** Cálculo de tuberías con el software TLV

**Tabla 30.**

*Características de la tubería del sistema de alimentación de combustible*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Material	ASTM A53 Galvanizado
Cedula	SCH 40
Diámetro nominal (NPS)	½"
Espesor	2.77 mm
Diámetro interno	15.7988 mm

#### 4.3.1.4 Válvulas de esfera

Poseen las mismas características de las válvulas utilizadas en el sistema de alimentación de agua que ya fueron detalladas en el punto 4.1.2.3, a diferencia del diámetro nominal. Las características de las válvulas de esfera seleccionadas se detallan a continuación en la **Tabla 31**.



**Tabla 31.**

*Características de las válvulas de esfera utilizadas en el sistema de alimentación de combustible*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	GENEBRE
Extremos	Roscados
Material	Bronce
Diámetro nominal (DN)	½"
Presión nominal de diseño (PN)	25 bares
Temperatura máxima	120° C

#### 4.3.1.5 Válvula check

Ésta tiene las mismas características que se detallaron en el punto 4.1.2.5, con la diferencia del diámetro nominal como se muestra en la **Tabla 32**.

**Tabla 32.**

*Características de las válvulas check utilizadas en el sistema de alimentación de combustible*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	PEGLER YORKSHIRE
Extremos	Roscados
Material	Bronce
Diámetro nominal (DN)	½"
Presión nominal de diseño (PN)	25 bares
Posición de trabajo	Horizontal
Temperatura máxima	120° C

#### 4.3.1.6 Filtro de combustible

Ésta tiene las mismas características que se detallaron en el punto

4.1.2.7 Filtro de agua, con la diferencia del diámetro nominal como se muestra en la **Tabla 33**.

En nuestro caso el filtro ayuda a proteger la bomba de alimentación de combustible, a pesar de que la bomba tiene su propio filtro incluido.

#### Tabla 33

*Características del filtro en Y para combustible*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	GENEBRE
Extremos	Roscados
Material	Bronce
Diámetro nominal (DN)	½"
Presión nominal de diseño (PN)	15 bares
Temperatura máxima	120° C

#### 4.3.2 Instalación y montaje del sistema

Una vez que se ha diseñado, se ha seleccionado y se ha construido todos los componentes del sistema se procede a la instalación de todos estos y a la construcción de la tubería, esto se realiza con la ayuda de una maquina roscadora marca RIDGID y con la ayuda de los siguientes elementos mostrado en la **Tabla 34**.

**Tabla 34.***Características de los elementos para instalar la tubería*

<b>ELEMENTO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Rollo de cinta de teflón	Marca: GENE BRE Longitud: 50 m Espesor: 0.1 mm Ancho: 12 mm
Pinta de teflón líquido	Marca: GENE BRE Volumen: 50 ml
Llave de tubo	Marca: STANLEY Longitud: 12"
Nivel	Marca: STANLEY Tipo: Torpedo Magnético
Flexómetro	Marca: STANLEY Longitud: 5 m
Mordaza	Con trípode

Toda la tubería de alimentación de combustible conectada al Caldero debe ser adecuadamente fijada y soportada para asegurar que no haya tensión o carga excesiva en las conexiones de la tubería por lo que se usaran abrazaderas ancladas al piso o a la pared. La ruta de la tubería no debe ser obstruida o provocará algún riesgo de inseguridad potencial. Toda la tubería de alimentación de combustible estará pintada como indica la norma INEN 440 que dice que las tuberías de combustible (Diésel) se identificarán con el color CAFÉ. (INORMA INEN 440, 1984)

## CAPITULO V

### 5. Construcción de tubería de abastecimiento de vapor

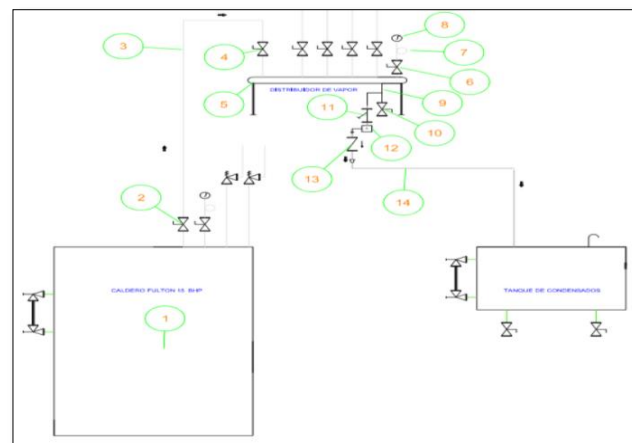
#### 5.1 Diseño del sistema de distribución de vapor

Para poder realizar el diseño del sistema de distribución de vapor se tendrá que separar en subsistemas para su mejor desarrollo, teniendo los siguientes subsistemas:

- Subsistema caldero-concentrador de vapor
- Subsistema concentrador de vapor-equipos de conducción
- Subsistema concentrador de vapor-equipos de calorímetros
- Subsistema concentrador de vapor-inyector de vapor
- Subsistema concentrador de vapor-válvula de abastecimiento de vapor

##### 5.1.1 Diseño subsistema caldero-concentrador de vapor

Con la ayuda de la **Figura 72** donde se muestra el diagrama unifilar del subsistema se explicará el funcionamiento del mismo, de la misma manera con la **Tabla 1** **Tabla 35** se detallara los elementos constitutivos del sistema.



**Figura 72.** Subsistema caldero-concentrador de vapor

El subsistema inicia en el caldero (1) donde se genera el vapor, el cual sale del mismo por la válvula de compuerta (2), que es una válvula de corte que permite el paso del vapor a través de la tubería (3). El vapor ingresa por medio de la válvula (4) al concentrador de vapor (5), desde donde será distribuido a los diferentes equipos dependientes. El concentrador de vapor cuenta con una toma para colocar un manómetro (8), pero previamente se debe colocar una válvula de corte (6) y una cola de marrano (7), para evitar daños y errores de medición en el manómetro. También el concentrador de vapor dispone de una toma en la parte inferior opuesta al ingreso de vapor (9), para purgar a través de la válvula de corte (10), y recuperar el condensado por medio de la trampa de balde invertido (12) siempre pasando por un filtro (11). La descarga de la trampa se dirige por la tubería (14) hacia el tanque de condensados pasando por una válvula check (13) que garantiza que el condensado de otros equipos ingrese a éste equipo.

**Tabla 35***Elementos constitutivos del subsistema caldero-concentrador de vapor*

N°	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
1	Quemador	FULTÓN
2	Válvula de descarga de vapor del caldero	Compuerta, DN 1", PN 40
3	Tubería de vapor caldero-concentrador de vapor	HN, SCH 40, NPS 1"
4	Válvula de ingreso de vapor al concentrador	Compuerta, DN 1", PN 40
5	Concentrador de vapor	Longitud: 2 m NPS 3"
6	Válvula de corte	Esfera, DN ¼", PN 40
7	Cola de marrano	HN, SCH 40, NPS ¼"
8	Manómetro	0 – 120 psi
9	Toma inferior del concentrador	NPS ½"
10	Válvula de purga del concentrador de vapor	Esfera, DN ½", PN 40
11	Filtro de vapor	En Y, Malla 100, DN ½", PN 25
12	Trampa de balde invertido	Hierro fundido, DN ½"
13	Válvula check	DN ½", PN 25
14	Tubería de retorno de condensado del concentrador	HN, SCH 40, NPS ½"

CONTINUA 

El diseño del subsistema se completa con el dimensionamiento y selección de elementos y accesorios necesarios para completar el circuito, los cuales se detallan a continuación.

#### 5.1.1.1 Tubería de vapor del caldero al concentrador de vapor

Para este caso la tubería será fabricada en ASTM A106 grado B conocido como hierro negro (HN) con cedula SCH 40 con acoplamiento roscado, de igual manera los accesorios serán roscados de hierro negro clase 3000.

Para realizar este diseño se debe tener como dato inicial el caudal másico de vapor, la presión a la que se encuentra el vapor y la velocidad a la que el vapor debe fluir por la tubería. El cálculo del diámetro se lo realiza mediante la ecuación 7.

$$d = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times \frac{m_s \times V}{3600 v}}$$

Donde:

$m_s$  : Caudal másico del vapor (kg/h)

$v$  : Velocidad del vapor (m/s)

$V$  : Volumen específico del vapor a la presión que se encuentra ( $m^3/kg$ )

Como dato de inicio se tiene el caudal másico o la generación nominal de vapor que ofrece el caldero cual es 234.75 (kg/h), además se tiene como dato las velocidades recomendadas para diseño de tuberías según la **Tabla 8**.

Entonces se va a calcular el diámetro de la tubería de la descarga de vapor teniendo como dato que la velocidad es 60 fps que equivale a 18.288 m/s y que el volumen específico del vapor a 60 psi es de 0.36449  $m^3/kg$ .

$$d = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times \frac{234.75 \frac{kg}{h} \times 0.36449 \frac{m^3}{kg}}{3600 \times 18.288 \frac{m}{s}}}$$

$$d = 0.02545 \text{ m} = 25.45 \text{ mm}$$

Por lo que la tubería comercial será de NPS 1", donde se puede hallar el verdadero diámetro interno y se recalcula la velocidad verdadera del agua.

$$d = 26.6446 \text{ mm}$$

$$v = 18.095 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Se puede calcular también las caídas de presión con la ecuación 11:

$$\Delta p = \frac{f \times l_e \times v^2}{2d \times V}$$

Donde:

$\Delta p$  : Caída de presión (Pa)

$f$  : Coeficiente de fricción

$l_e$  : Longitud equivalente de la tubería (m)

$V$  : Volumen específico del vapor a la presión que se encuentra ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )

$d$  : Diámetro interno de la tubería (m)

$v$  : Velocidad del vapor (m/s)

El coeficiente de fricción depende del tipo de flujo y se calcula de la siguiente forma:

Si el flujo es laminar ( $Re \leq 2000$ )

$$f = \frac{64}{Re}$$

Ahora bien, si el flujo es turbulento ( $Re \geq 4000$ ) o está en la zona de transición ( $2000 < Re < 4000$ ), es necesario utilizar el diagrama de Moody para determinar la relación entre el coeficiente de fricción ( $f$ ), el número de Reynolds ( $Re$ ) y la rugosidad

relativa ( $\varepsilon/d$ ). Donde el parámetro  $\varepsilon$  depende del material. Para éste caso el material es hierro negro ( $\varepsilon = 0.07 \text{ mm}$ ). Entonces se tiene la rugosidad relativa como se muestra a continuación.

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{0.07}{26.6446}$$

$$\frac{\varepsilon}{d} = 0.002$$

El parámetro Reynolds se calcula de la siguiente forma:

$$Re = \frac{d \times v}{V}$$

Donde:

$d$  : Diámetro interno de la tubería (m)

$v$  : Velocidad del agua (m/s)

$V$  : Viscosidad cinemática ( $\text{m}^2/\text{s}$ ). Donde  $V = \frac{\mu}{\rho}$

Para el vapor de agua a 60 psi  $\mu = 1.4 \times 10^{-5} \text{ kg/m s}$ , y  $\rho = 2.7430 \text{ kg/m}^3$

Entonces se tiene que:

$$V = 5.1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s},$$

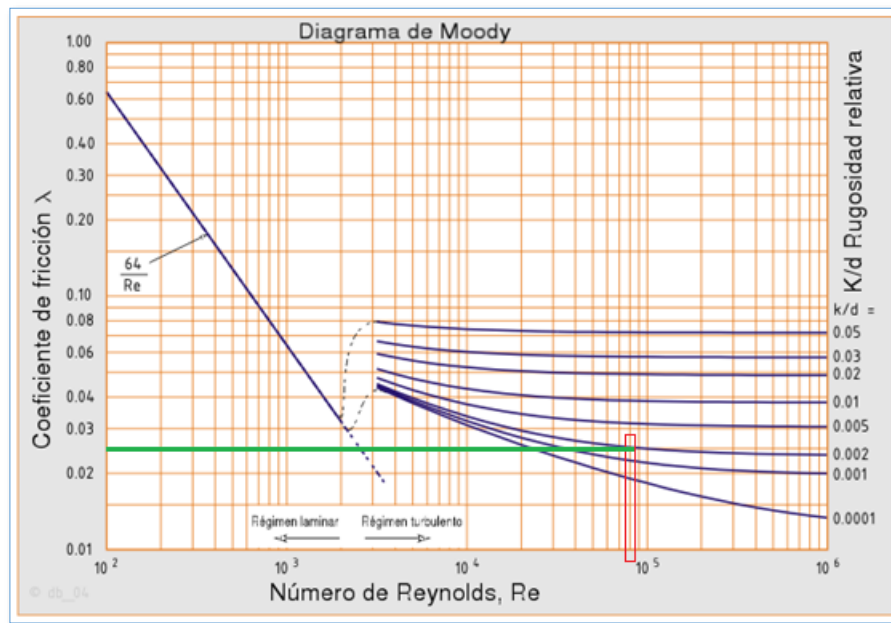
Por lo tanto, Reynolds será:

$$Re = \frac{0.0266446 \times 18.095}{0.0000051}$$

$$Re = 93759 \approx 95000$$



Con los datos de Reynolds y de la rugosidad relativa se entra en la tabla para encontrar el valor del coeficiente de fricción en el diagrama de Moody mostrado en la **Figura 73**.



**Figura 73.** Diagrama de Moody para tubería de vapor

Fuente: (Fulton, 2007)

De acuerdo al diagrama se puede señalar que el coeficiente de rozamiento es  $f = 0.024$ . Con éste dato y tomando en cuenta la longitud equivalente del sistema se puede calcular las pérdidas en la tubería. La longitud equivalente depende de los accesorios utilizados, pero realizar un estudio exhaustivo es muy extenso por lo que se tomara como longitud equivalente la longitud real de tubería más 5 metros en promedio por cada tramo de tubería por el tema de accesorios y válvulas.

$$\Delta p = \frac{f \times l_e \times v^2}{2d \times V}$$

Entonces se tiene los siguientes resultados.

$$\Delta p = \frac{0.025 \times 10 \times 18.095^2}{2 \times 0.0266446 \times 0.36449}$$

$$\Delta p = 4214.36 \text{ Pa} = 4.214 \text{ kPa} = 0.611 \text{ psi}$$

Estos resultados se pueden corroborar con un software proporcionado por la marca TLV que se muestra a continuación en la **Figura 74** y las características de la tubería diseñada serán las mostradas en la **Tabla 36**.

**Introducir Datos** Unidades SI(bar) ▼

Grado de Tubería: ANSI Sch40 ▼

Presión de Vapor: 60 psig ▼

Rango de Flujo del Vapor: 234.75 kg/h ▼

Velocidad Máxima Permissible [?]: 60 ft/s ▼

Longitud de la Tubería [?]: 10 m ▼

[Mostrar Opciones Avanzadas](#)

---

**Resultados**

Tamaño de Tubería: NPS1

Diámetro Interno Tubería: 26.6446 mm ▼

**Figura 74.** Cálculo de tuberías con el software TLV

**Tabla 36**

*Características de la tubería del sistema de suministro de vapor*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Material	ASTM A106 Gr B
Cedula	SCH 40
Diámetro nominal (NPS)	1"
Espesor	3.38 mm
Diámetro interno	26.64 mm

### 5.1.1.2 Concentrador de vapor

Para realizar este diseño se debe tener como dato inicial el caudal másico de vapor, la presión a la que se encuentra el vapor y la velocidad a la que el vapor debe fluir por la tubería. El cálculo del diámetro se lo realiza mediante la siguiente fórmula:

$$d = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times \frac{m_s \times V}{3600 v}}$$

Donde:

$m_s$  : Caudal másico del vapor (kg/h)

$v$  : Velocidad del vapor (m/s)

$V$  : Volumen específico del vapor a la presión que se encuentra ( $m^3/kg$ )

Como dato de inicio se tiene el caudal másico o la generación nominal de vapor que ofrece el caldero cual es 234.75 (kg/h), además se tiene como dato las velocidades recomendadas para diseño de tuberías según la **Tabla 36**.

Entonces se va a calcular el diámetro de la tubería de la descarga de vapor teniendo como dato que la velocidad es 20 fps que equivale a 6.096 m/s y que el volumen específico del vapor a 60 psi es de 0.36449  $m^3/kg$ .

$$d = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times \frac{234.75 \frac{kg}{h} \times 0.36449 \frac{m^3}{kg}}{3600 \times 6.096 \frac{m}{s}}}$$

$$d = 0.07045 m = 70.45 mm$$

Por lo que la tubería comercial será de NPS 3", donde se puede hallar el verdadero diámetro interno y se recalcula la velocidad verdadera del agua.

$$d = 77.9272 mm$$

$$v = 4.98335 \frac{m}{s}$$

Se puede observar que el procedimiento de cálculo es el mismo para todas las tuberías por esta razón desde este punto en adelante se tomará como válidos los resultados obtenidos en el software de la marca TLV.

Estos resultados se pueden corroborar con un software proporcionado por la marca TLV que se muestra a continuación en la Figura 75 y las características de la tubería diseñada serán las mostradas en la **Tabla 36**.

**Introducir Datos** Unidades SI(bar) ▼

Grado de Tubería	ANSI Sch40 ▼	
Presión de Vapor	60	psig ▼
Rango de Flujo del Vapor	234.75	kg/h ▼
Velocidad Máxima Permissible [?]	20	ft/s ▼
Longitud de la Tubería [?]	2	m ▼

[Mostrar Opciones Avanzadas](#)

---

**Resultados**

Tamaño de Tubería	NPS3	
Diámetro Interno Tubería	77.9272	mm ▼
Velocidad del Vapor	4.98335	m/s ▼
Caída de Presión	0.00275954	psi ▼
Longitud Equivalente a una Tubería Horizontal	2	m ▼

**Figura 75.** Cálculo de tuberías con el software TLV

La construcción del concentrador a vapor se la realizó en el taller mecánico de la empresa RETENA S.A., en la **Figura 75** se podrá observar cómo se fue construyendo y las características se detallan en la

Tabla 37.



**Figura 76.** Fabricación del concentrador de vapor

c) S

**Tabla 37**

*Características del concentrador de vapor*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Material	ASTM A106 Gr B
Cedula	SCH 40
Diámetro nominal (NPS)	3"
Longitud	2 m
Espesor	5.49 mm
Diámetro interno	77.927 mm

### 5.1.1.3 Tubería de condensado

Primero se calcula la carga de condensado que se genera en una tubería por radiación con la ayuda del software TLV, como se muestra en la Figura 77, teniendo en cuenta que no existe aislamiento del concentrador ni de la tubería.

The screenshot shows the 'Introducir Datos' (Enter Data) window of the TLV software. The 'Unidades' (Units) dropdown is set to 'SI(bar)'. The input fields are as follows:

Input Field	Value	Unit
Grado de Tubería	ANSI Sch40	
Tamaño de Tubería	NPS3	
Aislamiento [?]	Fibra de Vidrio	
Presión de Vapor	60	psig
Espesor de Aislamiento	0	mm
Longitud de la Tubería [?]	2	m

Below the input fields are buttons for 'Calcular' (Calculate) and 'Limpiar' (Clear). A link 'Mostrar Opciones Avanzadas' (Show Advanced Options) is also present. The 'Resultados' (Results) section is highlighted in green and shows:

Result	Value	Unit
Carga de Condensado	1.81867	kg/h
Calor Radiante	1063.12	W

**Figura 77.** Cálculo de la carga de condensado con software TLV

Como se puede observar la carga de condensado es 1.8186 kg/h, ahora con este valor y tomando en cuenta que la tubería por donde retornara el condensado tendrá una presión de 5 psi y que la velocidad máxima permisible del condensado será 1 m/s se puede calcular el diámetro de la tubería de condensado, como se muestra en la **Figura 78**.

**Introducir Datos**

Unidades: SI(bar)

Grado de Tubería: ANSI Sch40

Presión del Condensado [?]: 60 psig

Carga de Condensado [?]: 1.81867 kg/h

Presión de la Línea de Recuperación: 5 psig

Longitud de la Tubería [?]: 7 m

Velocidad Máxima Permisible [?]: 1 m/s

Mostrar Opciones Avanzadas

Calcular Limpia

**Resultados**

Tamaño de Tubería: NPS1/4

Diámetro Interno Tubería: 9.2456 mm

Velocidad del Condensado: 0.82351 m/s

Caída de Presión: 0.0744565 psi

Longitud Equivalente a una Tubería Horizontal: 7 m

**Figura 78.** Cálculo del diámetro de la tubería de condensado con software TLV

Finalmente se obtiene un valor del diámetro de  $\frac{1}{4}$ ", pero la mayoría de accesorios y válvulas necesarias son muy difíciles de encontrar en esos diámetros nominales, razón por la cual se toma como diámetro de la tubería de condensado  $\frac{1}{2}$ " por facilidad de fabricación, entonces la característica de la tubería de condensado se detalla en la **Tabla 38**.

**Tabla 38.**

*Características de la tubería de condensado del concentrador de vapor*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Material	ASTM A106 Gr B
Cedula	SCH 40
Diámetro nominal (NPS)	$\frac{1}{2}$ "
Espesor	2.77 mm
Diámetro interno	15.7988 mm

#### 5.1.1.4 Válvulas de esfera

Las características de las válvulas de esfera seleccionadas se detallan a continuación en la **Tabla 39**.



**Tabla 39.**

*Características de las válvulas de esfera utilizadas en la tubería de vapor*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	GENEBRE
Extremos	Roscados
Material	Bronce
Diámetro nominal (DN)	½", ¼"
Presión nominal de diseño (PN)	40 bares
Temperatura máxima	180° C

#### 5.1.1.5 Válvulas de compuerta

Las características de las válvulas de compuerta seleccionadas se detallan a continuación en la **Tabla 40**.

**Tabla 40.**

*Características de las válvulas de compuerta utilizadas en la tubería de vapor*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	GENEBRE
Extremos	Roscados
Material	Bronce
Diámetro nominal (DN)	1"
Presión nominal de diseño (PN)	40 bares
Temperatura máxima	180° C

#### 5.1.1.6 Válvula check

Las características de las válvulas check seleccionadas se detallan a continuación en la **Tabla 41**.

**Tabla 41**

*Características de las válvulas check utilizadas en la tubería de condensado*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	PEGLER YORKSHIRE

Extremos	Roscados
Material	Bronce
Diámetro nominal (DN)	½"
Presión nominal de diseño (PN)	25 bares
Posición de trabajo	Horizontal
Temperatura máxima	180° C

#### 5.1.1.7 Filtro de vapor

Las características del filtro de vapor seleccionado se detallan a continuación en la **Tabla 42**.

#### Tabla 42.

*Características del filtro en Y utilizado antes de la trampa de balde invertido*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	GENEBRE
Extremos	Roscados
Material	Bronce
Malla	100 $\mu m$
Diámetro nominal (DN)	½"
Presión nominal de diseño (PN)	25 bares
Temperatura máxima	180° C

#### 5.1.1.8 Trampa de vapor

Para la selección de la trampa de vapor se debe tomar en cuenta la **Figura 79**, donde se muestra las aplicaciones típicas de los diferentes tipos de trampas. Las características del filtro de vapor seleccionado se detallan a continuación en la

Tabla 43.

Aplicación	Primera Alternativa	Segunda Alternativa
Serpentines de calefacción de aire		
Baja y mediana presión	Flotador y termostática	-----
Alta presión	-----	Termodinámica
Calentadores de agua (instantáneos)	Flotador y termostática	-----
Calentadores de agua (Almacenamiento)	Flotador y termostática	-----
Intercambiadores de calor		
Pequeños – Baja y mediana presión	Termodinámica	Flotador y termostática
Grandes – Baja y mediana presión	Flotador y termostática	-----
Re-calentadores	Flotador y termostática	-----
Recipiente con camisa de vapor		
Alta presión	Termodinámica	Flotador y termostática
Baja presión	Flotador y termostática	Termodinámica
Trampas para drenar líneas principales de vapor		
0 – 1 kg/cm <sup>2</sup> man	Flotador y termostática	-----
1 – 9 kg/cm <sup>2</sup> man	Balde invertido	Flotador y termostática
9 – 42 kg/cm <sup>2</sup> man	Termodinámica	-----
Serpentines de tubería de vapor (Calefacción de aire)	Termostática (de presión equilibrada)	Termodinámica
Radiadores de vapor	Termostática (de presión equilibrada)	Termodinámica
Separadores de vapor		
0 – 1 kg/cm <sup>2</sup> man	Flotador y termostática	-----
1 – 9 kg/cm <sup>2</sup> man	Termodinámica	Flotador y termostática
9 – 42 kg/cm <sup>2</sup> man	Termodinámica	Balde invertido
Líneas de flujo de vapor	Termodinámica	Expansión líquida

**Figura 79.** Selección del tipo de trampa según su aplicación

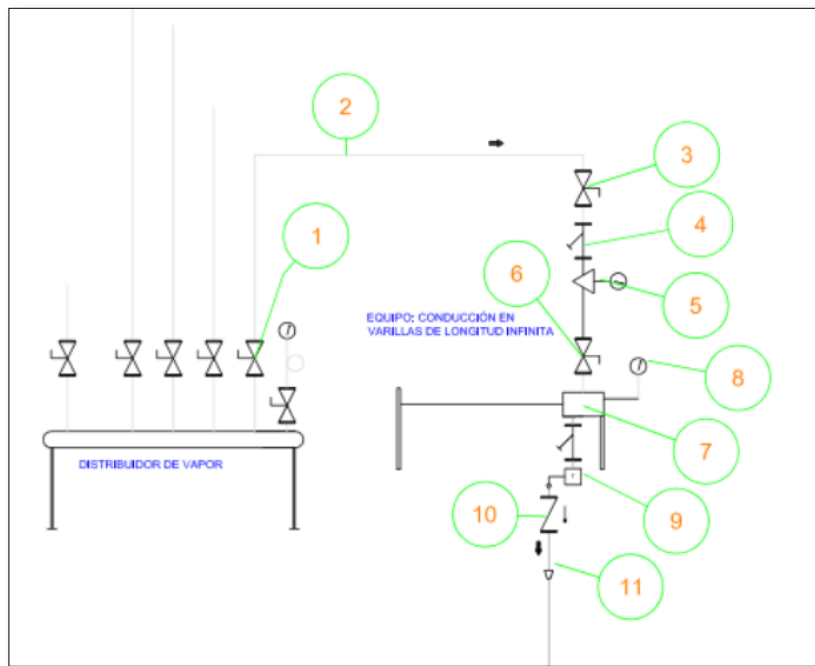
Fuente: (Clayton, 2016)

**Tabla 43.***Características de la trampa de balde invertido*

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Marca	GENEBRE
Extremos	Roscados
Material	Hierro fundido
Tipo	Balde invertido
Diámetro nominal (DN)	1/2"
Presión nominal de diseño (PN)	25 bares
Temperatura máxima	180° C

### **5.1.2 Diseño subsistema concentrador de vapor-equipos de conducción**

Con la ayuda de la **Figura 80**, donde se muestra el diagrama unifilar del subsistema se explicará el funcionamiento del mismo, de la misma manera con la **Tabla 44**, se detallará los elementos constitutivos del sistema.



**Figura 80.** Subsistema concentrador de vapor-equipos de conducción.

El subsistema inicia con la válvula de compuerta (1) que descarga el vapor desde el concentrador hacia la línea de alimentación de vapor (2) del equipo de conducción (7). Antes de ingresar al equipo de conducción se debe tomar en cuenta que el equipo está diseñado para trabajar con una presión máxima de 15 psi que puede ser visualizada en el manómetro (8), por lo que antes de ingresar al equipo el vapor debe pasar por las válvulas de corte (3 y 6), por el filtro (4) y por la reductora de presión (5).

El equipo cuenta con una tubería para el condensado generado, que es extraído por la trampa termodinámica (9), la cual viene provista de un filtro. A la descarga de esta trampa se coloca una válvula check (10) que garantiza que el condensado de otros equipos no ingrese a éste y solo fluya el condensado en un sentido por la tubería (11).

**Tabla 44.**

*Elementos constitutivos del subsistema concentrador de vapor-equipo de conducción*

<b>N°</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
1	Válvula de descarga del concentrador de vapor	Compuerta, DN ½", PN 25
2	Tubería de suministro de vapor al equipo de conducción	HN, SCH 40, NPS ½"
3	Válvula de corte	Esfera, DN ½", PN 25
4	Filtro de vapor	En Y, Malla 100, DN ½", PN 25
5	Reductora de presión	Z-TIDE, con manómetro
6	Válvula de corte	Esfera, DN ½", PN 25
7	Equipo de conducción	N/A
8	Manómetro	0 – 60 psi
9	Trampa de vapor	Termodinámica, con filtro DN ½", PN 25
10	Válvula check	DN ½", PN 25
11	Tubería de condensado	HN, SCH 40, NPS ½"

El diseño del subsistema se completa con el dimensionamiento y selección de elementos y accesorios necesarios para completar el circuito, los cuales se detallan a continuación.

#### **5.1.2.1 Tubería de vapor del concentrador de vapor al equipo de conducción**

Para este caso la tubería será fabricada en ASTM A106 grado B conocido como hierro negro (HN) con cedula SCH 40 con acoplamiento roscado, de igual manera los accesorios serán roscados de hierro negro clase 3000.

Como ya se explicó anteriormente el procedimiento de cálculo es el mismo para todas las tuberías por esta razón desde este punto en adelante se tomará como válidos los resultados obtenidos en el software de la marca TLV, como se muestra en la **Figura 81**. Para esto es necesario tener los datos de entrada que son los siguientes:

- Presión de vapor = 60 psi

- Caudal másico = 30 kg/h
- Velocidad máxima permisible = 60 ft/s

**Introducir Datos** Unidades SI(bar) ▼

Grado de Tubería	ANSI Sch40	
Presión de Vapor	60	psig ▼
Rango de Flujo del Vapor	30	kg/h ▼
Velocidad Máxima Permisible [?]	60	ft/s ▼
Longitud de la Tubería [?]	7	m ▼

[Mostrar Opciones Avanzadas](#)

[Limpiar](#)

**Resultados**

Tamaño de Tubería	NPS1/2	
Diámetro Interno Tubería	15.7988	mm ▼
Velocidad del Vapor	15.4941	m/s ▼
Caída de Presión	0.621948	psi ▼
Longitud Equivalente a una Tubería Horizontal	7	m ▼

**Figura 81.** Cálculo de tuberías con el software TLV

Las características de la tubería se muestran en la **Tabla 45**.

**Tabla 45**

*Características de la tubería de vapor*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Material	ASTM A106 Gr B
Cedula	SCH 40
Diámetro nominal (NPS)	½"
Espesor	2.77 mm
Diámetro interno	15.7988 mm

### 5.2.2.2 Tubería de condensado

Primero se calcula la carga de condensado que se genera en una tubería por radiación con la ayuda del software TLV, como se muestra en la **Figura 82**, teniendo en cuenta que no existe aislamiento del concentrador ni de la tubería.

Introducir Datos		Unidades
Grado de Tubería	ANSI Sch40	SI(bar)
Tamaño de Tubería	NPS1/2	
Aislamiento [?]	Fibra de Vidrio	
Presión de Vapor	60	psig
Espesor de Aislamiento	0	mm
Longitud de la Tubería [?]	7	m

[Mostrar Opciones Avanzadas](#)

**Calcular**    [Limpiar](#)

Resultados		
Carga de Condensado	1.52769	kg/h
Calor Radiante	893.018	W

**Figura 82.** Cálculo de la carga de condensado con software TLV

Como se puede observar la carga de condensado es 1.52769 kg/h, ahora con este valor y tomando en cuenta que la tubería por donde retornará el condensado tendrá una presión de 5 psi y que la velocidad máxima permisible del condensado será 1 m/s se puede calcular el diámetro de la tubería de condensado, como se muestra en la **Figura 83**.



**Introducir Datos** Unidades SI(bar) ▼

Grado de Tubería	ANSI Sch40	▼
Presión del Condensado [?]	15	psig ▼
Carga de Condensado [?]	1.52769	kg/h ▼
Presión de la Línea de Recuperación	5	psig ▼
Longitud de la Tubería [?]	7	m ▼
Velocidad Máxima Permisible [?]	1	m/s ▼

[Mostrar Opciones Avanzadas](#)

[Limpiar](#)

**Resultados**

Tamaño de Tubería	NPS1/8	
Diámetro Interno Tubería	6.8326	mm ▼
Vlocidad del Condensado	0.363138	m/s ▼
Caída de Presión	0.0639401	psi ▼
Longitud Equivalente a una Tubería Horizontal	7	m ▼

**Figura 83.** Cálculo del diámetro de la tubería de condensado con software TLV

Finalmente se obtiene un valor del diámetro de 1/8", pero la mayoría de accesorios y válvulas necesarias son muy difíciles de encontrar en esos diámetros nominales, razón por la cual se toma como diámetro de la tubería de condensado 1/2" por facilidad de fabricación, entonces la característica de la tubería de condensado se detalla en la

**Tabla 46.**

**Tabla 46.**

*Características de la tubería de condensado del equipo de conducción*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Material	ASTM A106 Gr B
Cedula	SCH 40
Diámetro nominal (NPS)	1/2"
Espesor	2.77 mm
Diámetro interno	15.7988 mm

### 5.2.2.3 Válvulas de esfera

Las características de las válvulas de esfera seleccionadas se detallan a continuación en la **Tabla 47**.

#### Tabla 47.

*Características de las válvulas de esfera utilizadas en la tubería de vapor*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	GENEBRE
Extremos	Roscados
Material	Bronce
Diámetro nominal (DN)	½"
Presión nominal de diseño (PN)	25 bares
Temperatura máxima	180° C

### 5.2.2.4 Válvulas de compuerta

Las características de las válvulas de compuerta seleccionadas se detallan a continuación en la **Tabla 48**.

#### Tabla 48.

*Características de las válvulas de compuerta utilizadas en la tubería de vapor*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	GENEBRE
Extremos	Roscados
Material	Bronce
Diámetro nominal (DN)	½"
Presión nominal de diseño (PN)	25 bares
Temperatura máxima	180° C

### 5.2.2.5 Válvula check

Las características de las válvulas check seleccionadas se detallan a continuación en la **Tabla 49**.

**Tabla 49.**

*Características de las válvulas check utilizadas en la tubería de condensado*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	PEGLER YORKSHIRE
Extremos	Roscados
Material	Bronce
Diámetro nominal (DN)	½"
Presión nominal de diseño (PN)	25 bares
Posición de trabajo	Horizontal
Temperatura máxima	180° C

### 5.5.2.6 Trampa de vapor

Para la selección de la trampa de vapor se debe tomar en cuenta las aplicaciones típicas de los diferentes tipos de trampas. Las características del filtro de vapor seleccionado se detallan a continuación en la **Tabla 50**.

**Tabla 50.**

*Características de la trampa termodinámica*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	GENEBRE
Extremos	Roscados
Material	Hierro fundido
Tipo	Termodinámica, con filtro incluido
Diámetro nominal (DN)	½"
Presión nominal de diseño (PN)	25 bares

### 5.2.2.7 Filtro de vapor

Las características del filtro de vapor seleccionado se detallan a continuación en la **Tabla 51**.

**Tabla 51.**

*Características del filtro en Y utilizado antes de la reductora de presión*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	GENEBRE
Extremos	Roscados
Material	Bronce
Malla	100 $\mu m$
Diámetro nominal (DN)	1/2"
Presión nominal de diseño (PN)	25 bares
Temperatura máxima	180° C

### 5.2.2.8 Reductora de presión

Las características de la reductora de presión de vapor seleccionada se detallan a continuación en la

**Tabla 52.****Tabla 52**

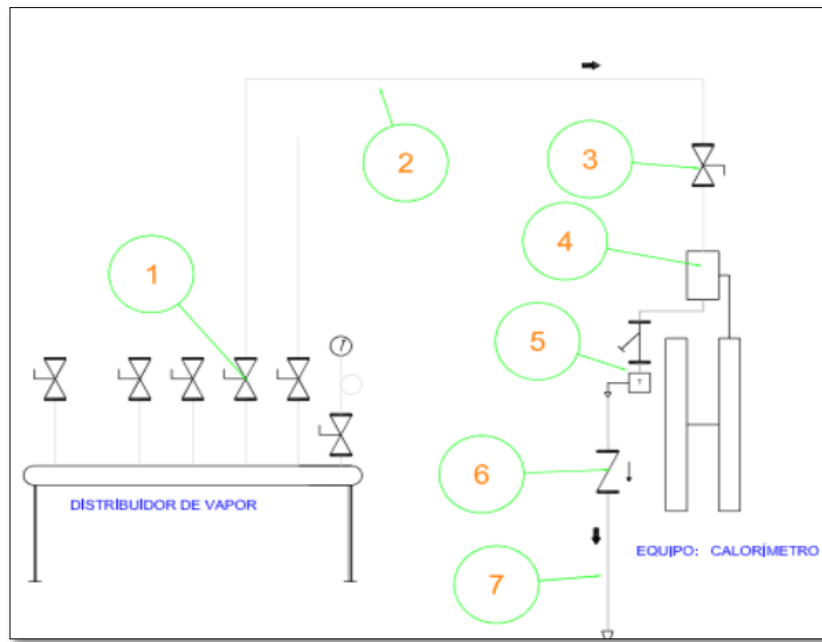
*Características de la reductora de presión*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	Z-TIDE
Extremos	Roscados
Material	Acero inoxidable
Tipo	De resorte, con manómetro
Diámetro nominal (DN)	1/2"
Presión nominal de diseño (PN)	25 bares

### 5.1.3 Diseño subsistema concentrador de vapor-equipo de calorímetros

Con la ayuda de la **Figura 84**, donde se muestra el diagrama unifilar del sistema de alimentación de agua se explicará el funcionamiento del mismo, de la misma manera con la

**Tabla 53** se detallará los elementos constitutivos del sistema.



**Figura 84:** Subsistema concentrador de vapor-equipos de calorímetros

El subsistema inicia con la válvula de compuerta (1) que descarga el vapor desde el concentrador hacia la línea de alimentación de vapor (2) del equipo de calorímetros (4). Antes de ingresar al equipo de calorímetros el vapor pasa por una válvula de corte (3) de ingreso al equipo

El equipo cuenta con una tubería para el condensado generado, que es extraído por la trampa termodinámica (5), la cual viene provista de un filtro. A la descarga de esta trampa se coloca una válvula check (6) que garantiza que el condensado de otros equipos no ingrese a éste y solo fluya el condensado en un sentido por la tubería (7).

**Tabla 53.**

*Elementos constitutivos del subsistema concentrador de vapor-equipo de calorímetros*

<b>N°</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
1	Válvula de descarga del concentrador de vapor	Compuerta, DN 1", PN 25
2	Tubería de suministro de vapor al equipo de calorímetros	HN, SCH 40, NPS 1"
3	Válvula de corte	Esfera, DN 1", PN 25
4	Equipo de conducción	N/A
5	Trampa de vapor	Termodinámica, con filtro DN ½", PN 25
6	Válvula check	DN ½", PN 25
7	Tubería de condensado	HN, SCH 40, NPS ½"

El diseño del subsistema se completa con el dimensionamiento y selección de elementos y accesorios necesarios para completar el circuito, los cuales se detallan a continuación.

#### **5.1.3.1 Tubería de vapor del concentrador de vapor al equipo de calorímetros**

Para este caso la tubería será fabricada en ASTM A106 grado B conocido como hierro negro (HN) con cedula SCH 40 con acoplamiento roscado, de igual manera los accesorios serán roscados de hierro negro clase 3000. Como ya se explicó anteriormente el procedimiento de cálculo es el mismo para todas las tuberías por esta razón desde este punto en adelante se tomará como válidos los resultados obtenidos en el software de la marca TLV, como se muestra en la **Figura 85**. Para esto es necesario tener los datos de entrada que son los siguientes:

- Presión de vapor = 60 psi

- Caudal másico = 80 kg/h
- Velocidad máxima permisible = 60 ft/s

**Introducir Datos** Unidades SI(bar) ▾

Grado de Tubería	ANSI Sch40	▾
Presión de Vapor	60	psig ▾
Rango de Flujo del Vapor	80	kg/h ▾
Velocidad Máxima Permisible [?]	60	ft/s ▾
Longitud de la Tubería [?]	15	m ▾

Mostrar Opciones Avanzadas

[Limpiar](#)

**Resultados**

Tamaño de Tubería	NPS1	
Diámetro Interno Tubería	26.6446	mm ▾
Velocidad del Vapor	14.5266	m/s ▾
Caída de Presión	0.603554	psi ▾
Longitud Equivalente a una Tubería Horizontal	15	m ▾

**Figura 85.** Cálculo de tuberías con el software TLV

Las características de la tubería se muestran en la **Tabla 54**.

**Tabla 54.**

*Características de la tubería de vapor*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Material	ASTM A106 Gr B
Cedula	SCH 40
Diámetro nominal (NPS)	1"
Espesor	3.38 mm
Diámetro interno	26.6446 mm

### 5.2.3.2 Tubería de condensado

Primero se calcula la carga de condensado que se genera en una tubería por radiación con la ayuda del software TLV, como se muestra en la **Figura 86**, teniendo en cuenta que no existe aislamiento del concentrador ni de la tubería.

Introducir Datos		Unidades
Grado de Tubería	ANSI Sch40	
Tamaño de Tubería	NPS1	
Aislamiento [?]	Fibra de Vidrio	
Presión de Vapor	60	psig
Espesor de Aislamiento	0	mm
Longitud de la Tubería [?]	15	m

[Mostrar Opciones Avanzadas](#)

Resultados		
Carga de Condensado	5.12476	kg/h
Calor Radiante	2995.71	W

**Figura 86:** Cálculo de la carga de condensado con software TLV

Como se puede observar la carga de condensado es 5.12476 kg/h, ahora con este valor y tomando en cuenta que la tubería por donde retornará el condensado tendrá una presión de 5 psi y que la velocidad máxima permisible del condensado será 1 m/s se puede calcular el diámetro de la tubería de condensado, como se muestra en **Figura 87**.



**Introducir Datos** Unidades SI(bar) ▼

Grado de Tubería	ANSI Sch40	▼
Presión del Condensado [?]	60	psig ▼
Carga de Condensado [?]	5.12476	kg/h ▼
Presión de la Línea de Recuperación	5	psig ▼
Longitud de la Tubería [?]	15	m ▼
Velocidad Máxima Permisible [?]	1	m/s ▼

[Mostrar Opciones Avanzadas](#)

**Resultados**

Tamaño de Tubería	NPS1/2	
Diámetro Interno Tubería	15.7988	mm ▼
Vlocidad del Condensado	0.794712	m/s ▼
Caída de Presión	0.0527301	psi ▼
Longitud Equivalente a una Tubería Horizontal	15	m ▼

**Figura 87.** Cálculo del diámetro de la tubería de condensado con software TLV

Finalmente se obtiene un valor del diámetro de  $\frac{1}{2}$ ", entonces la característica de la tubería de condensado se detalla en la **Tabla 55**.

**Tabla 55**

*Características de la tubería de condensado del equipo de calorímetros*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Material	ASTM A106 Gr B
Cedula	SCH 40
Diámetro nominal (NPS)	$\frac{1}{2}$ "
Espesor	2.77 mm
Diámetro interno	15.7988 mm

### 5.2.3.3 Válvulas de esfera

Las características de las válvulas de esfera seleccionadas se detallan a continuación en la **Tabla 56.**

#### Tabla 56.

*Características de las válvulas de esfera utilizadas en la tubería de vapor*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	GENEBRE
Extremos	Roscados
Material	Bronce
Diámetro nominal (DN)	1",
Presión nominal de diseño (PN)	25 bares
Temperatura máxima	180° C

### 5.2.3.4 Válvulas de compuerta

Las características de las válvulas de compuerta seleccionadas se detallan a continuación en la **Tabla 57.**

#### Tabla 57.

*Características de las válvulas de compuerta utilizadas en la tubería de vapor*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	GENEBRE
Extremos	Roscados
Material	Bronce
Diámetro nominal (DN)	1"
Presión nominal de diseño (PN)	25 bares
Temperatura máxima	180° C

### 5.2.3.5 Válvula check

Las características de las válvulas check seleccionadas se detallan a continuación en la **Tabla 58.**

**Tabla 58.**

*Características de las válvulas check utilizadas en la tubería de condensado*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	PEGLER YORKSHIRE
Extremos	Roscados
Material	Bronce
Diámetro nominal (DN)	½"
Presión nominal de diseño (PN)	25 bares
Posición de trabajo	Horizontal
Temperatura máxima	180° C

### 5.2.3.6 Trampa de vapor

Para la selección de la trampa de vapor se debe tomar en cuenta la **Figura 79**. En donde se muestra las aplicaciones típicas de los diferentes tipos de trampas. Las características del filtro de vapor seleccionado se detallan a continuación en la **Tabla 59**.

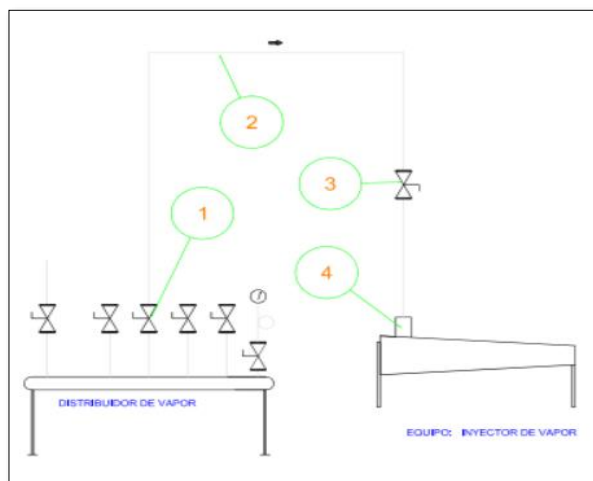
**Tabla 59.**

*Características de la trampa termodinámica*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	GENEBRE
Extremos	Roscados
Material	Hierro fundido
Tipo	Termodinámica, con filtro incluido
Diámetro nominal (DN)	½"
Presión nominal de diseño (PN)	25 bares

### 5.3.1 Diseño subsistema concentrador de vapor-inyector de vapor

Con la ayuda de la **Figura 88**, donde se muestra el diagrama unifilar del sistema de alimentación de agua se explicará el funcionamiento del mismo, de la misma manera con la Tabla 59 se detallará los elementos constitutivos del sistema.



**Figura 88:** Subsistema concentrador de vapor-inyector de vapor

El subsistema inicia con la válvula de compuerta (1) que descarga el vapor desde el concentrador hacia la línea de alimentación de vapor (2) del inyector de vapor (4). Antes de ingresar al equipo de calorímetros el vapor pasa por una válvula de corte (3) de ingreso al equipo

**Tabla 60.**

*Elementos constitutivos del subsistema concentrador de vapor-inyector de vapor.*

N°	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
1	Válvula de descarga del concentrador de vapor	Compuerta, DN ½", PN 25
2	Tubería de suministro de vapor al equipo de calorímetros	HN, SCH 40, NPS ½"
3	Válvula de corte	Esfera, DN ½", PN 25
4	Inyector de vapor	N/A

El diseño del subsistema se completa con el dimensionamiento y selección de elementos y accesorios necesarios para completar el circuito, los cuales se detallan a continuación.

### 5.3.1.1 Tubería de vapor del concentrador de vapor al inyector de vapor

Para este caso la tubería será fabricada en ASTM A106 grado B conocido como hierro negro (HN) con cedula SCH 40 con acoplamiento roscado, de igual manera los accesorios serán roscados de hierro negro clase 3000.

Como ya se explicó anteriormente el procedimiento de cálculo es el mismo para todas las tuberías por esta razón desde este punto en adelante se tomará como válidos los resultados obtenidos en el software de la marca TLV, como se muestra en la **Figura 89**. Para esto es necesario tener los datos de entrada que son los siguientes:

- Presión de vapor = 60 psi
- Caudal másico = 30 kg/h
- Velocidad máxima permisible = 60 ft/s

**Introducir Datos** Unidades SI(bar) ▼

Grado de Tubería	ANSI Sch40	▼
Presión de Vapor	60	psig ▼
Rango de Flujo del Vapor	30	kg/h ▼
Velocidad Máxima Permisible [?]	60	ft/s ▼
Longitud de la Tubería [?]	5	m ▼

[Mostrar Opciones Avanzadas](#)

**Resultados**

Tamaño de Tubería	NPS1/2	
Diámetro Interno Tubería	15.7988	mm ▼
Velocidad del Vapor	15.4941	m/s ▼
Caída de Presión	0.444249	psi ▼
Longitud Equivalente a una Tubería Horizontal	5	m ▼

**Figura 89.** Cálculo de tuberías con el software TLV

Las características de la tubería se muestran en la **Tabla 61**.

**Tabla 61**

*Características de la tubería de vapor del inyector de vapor*

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Material	ASTM A106 Gr B
Cedula	SCH 40
Diámetro nominal (NPS)	½"
Espesor	2.77 mm
Diámetro interno	15.7988 mm

### 5.3.1.2 Válvulas de esfera

Las características de las válvulas de esfera seleccionadas se detallan a continuación en la **Tabla 62**.

**Tabla 62.**

*Características de las válvulas de esfera utilizadas en la tubería de vapor.*

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Marca	GENEBRE
Extremos	Roscados
Material	Bronce
Diámetro nominal (DN)	½"
Presión nominal de diseño (PN)	25 bares
Temperatura máxima	180° C

### 5.3.1.3 Válvulas de compuerta

Las características de las válvulas de compuerta seleccionadas se detallan a continuación en la

**Tabla 63.**

**Tabla 63.**

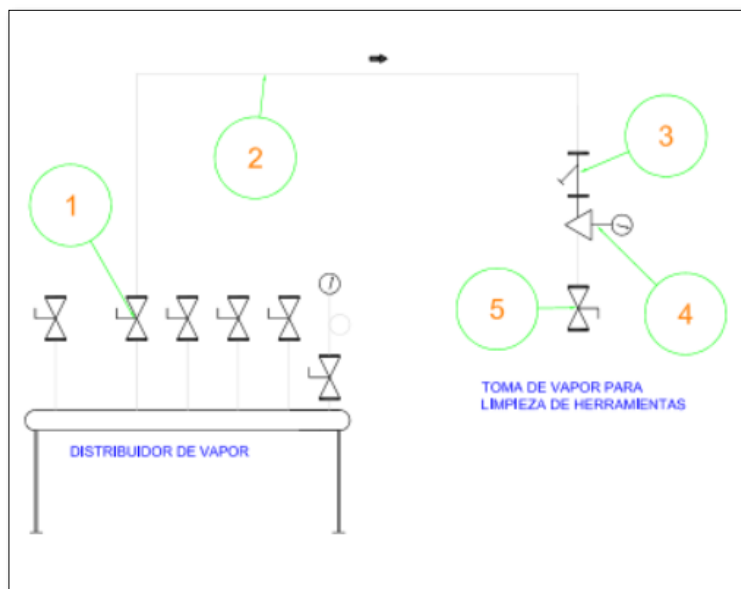
*Características de las válvulas de compuerta utilizadas en la tubería de vapor*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	GENEBRE
Extremos	Roscados
Material	Bronce
Diámetro nominal (DN)	½"
Presión nominal de diseño (PN)	25 bares
Temperatura máxima	180° C

#### **5.4.2 Diseño subsistema concentrador de vapor-válvula de abastecimiento de vapor**

Con la ayuda de la **Figura 90**, donde se muestra el diagrama unifilar del sistema de alimentación de agua se explicará el funcionamiento del mismo, de la misma manera con la

**Tabla 64** se detallara los elementos constitutivos del sistema.



**Figura 90.** Subsistema concentrador de vapor-válvula de abastecimiento de vapor

El subsistema inicia con la válvula de compuerta (1) que descarga el vapor desde el concentrador hacia la línea de vapor para consumo (2), Como es una tubería de consumo directo se debe regular la presión a 15 psi, por lo cual se utiliza una reductora de presión (4). Antes de ingresar a la reductora es necesario colocar un filtro (3) para proteger la reductora de presión. Finalmente, el vapor es suministrado por la válvula de compuerta (5).

**Tabla 64.**

*Elementos constitutivos del subsistema concentrador de vapor-válvula de abastecimiento de vapor*

N°	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
1	Válvula de descarga del concentrador de vapor	Compuerta, DN ½", PN 25
2	Tubería de suministro de vapor al equipo de calorímetros	HN, SCH 40, NPS ½"
3	Filtro de vapor	En Y, Malla 100, DN ½", PN



		25
4	Reductora de presión	Z-TIDE, con manómetro
5	Válvula de suministro de vapor	Compuerta, DN ½", PN 25

El diseño del subsistema se completa con el dimensionamiento y selección de elementos y accesorios necesarios para completar el circuito, los cuales se detallan a continuación.

### 5.3.2.1 Tubería de vapor del concentrador de vapor a la válvula de abastecimiento de vapor

Para este caso la tubería será fabricada en ASTM A106 grado B conocido como hierro negro (HN) con cedula SCH 40 con acoplamiento roscado, de igual manera los accesorios serán roscados de hierro negro clase 3000.

Como ya se explicó anteriormente el procedimiento de cálculo es el mismo para todas las tuberías por esta razón desde este punto en adelante se tomará como válidos los resultados obtenidos en el software de la marca TLV, como se muestra en la **Figura 91**. Para esto es necesario tener los datos de entrada que son los siguientes:

- Presión de vapor = 60 psi
- Caudal másico = 30 kg/h
- Velocidad máxima permisible = 60 ft/s

**Introducir Datos**

Unidades: SI(bar)

Grado de Tubería: ANSI Sch40

Presión de Vapor: 60 psig

Rango de Flujo del Vapor: 30 kg/h

Velocidad Máxima Permisible [?]: 60 ft/s

Longitud de la Tubería [?]: 5 m

Mostrar Opciones Avanzadas

Calcular Limpiar

**Resultados**

Tamaño de Tubería: NPS1/2

Diámetro Interno Tubería: 15.7988 mm

Velocidad del Vapor: 15.4941 m/s

Caída de Presión: 0.444249 psi

Longitud Equivalente a una Tubería Horizontal: 5 m

**Figura 91.** Cálculo de tuberías con el software TLV

Las características de la tubería se muestran en la **Tabla 65**.

**Tabla 65.**

*Características de la tubería de abastecimiento de vapor*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Material	ASTM A106 Gr B
Cedula	SCH 40
Diámetro nominal (NPS)	1/2"
Espesor	2.77 mm
Diámetro interno	15.7988 mm

**5.3.2.3 Válvulas de compuerta**

Las características de las válvulas de compuerta seleccionadas se detallan a continuación en la **Tabla 66**.

**Tabla 66**

*Características de las válvulas de compuerta utilizadas en la tubería de vapor*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	GENEBRE
Extremos	Roscados
Material	Bronce
Diámetro nominal (DN)	1/2"
Presión nominal de diseño (PN)	25 bares
Temperatura máxima	180° C

#### 5.3.2.4 Filtro de vapor

Las características del filtro de vapor seleccionado se detallan a continuación en la **Tabla 67**.

#### Tabla 67.

*Características del filtro en Y utilizado antes de la reductora de presión*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	GENEBRE
Extremos	Roscados
Material	Bronce
Malla	100 $\mu m$
Diámetro nominal (DN)	1/2"
Presión nominal de diseño (PN)	25 bares
Temperatura máxima	180° C

#### 5.3.2.5 Reductora de presión

Las características de la reductora de presión de vapor seleccionada se detallan a continuación en la **Tabla 68**.

#### Tabla 68.

*Características de la reductora de presión*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	Z-TIDE

Extremos	Roscados
Material	Acero inoxidable
Tipo	De resorte, con manómetro
Diámetro nominal (DN)	½"
Presión nominal de diseño (PN)	25 bares

### 5.3.3 Instalación y montaje del sistema

Una vez que se ha diseñado, se ha seleccionado y se ha construido todos los componentes del sistema se procede a la instalación de todos estos y a la construcción de la tubería, esto se realiza con la ayuda de una maquina roscadora marca RIDGID y con la ayuda de los siguientes elementos mostrado en la

**Tabla 69.**

**Tabla 69.**

*Características de los elementos para instalar la tubería*

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Rollo de cinta de teflón	Marca: GENE BRE Longitud: 50 m Espesor: 0.1 mm Ancho: 12 mm
Pinta de teflón líquido	Marca: GENE BRE Volumen: 50 ml
Llave de tubo	Marca: STANLEY Longitud: 12"
Nivel	Marca: STANLEY Tipo: Torpedo Magnético
Flexómetro	Marca: STANLEY Longitud: 5 m
Mordaza	Con trípode

CONTINÚA →

Toda la tubería de suministro de vapor debe ser adecuadamente fijada y soportada para asegurar que no haya tensión o carga excesiva en las conexiones de la tubería por lo que se usaran abrazaderas ancladas al piso o a la pared. La ruta de la tubería no debe ser obstruida o provocará algún riesgo de inseguridad potencial. Toda la tubería de suministro de vapor estará pintada como indica la norma INEN 440 que dice que las tuberías de agua caliente o vapor se identificarán con el color PLATEADO. (INORMA INEN 440, 1984)

## CAPITULO VI

### Sistema de gases de combustión

#### 6.1 Diseño del sistema de evacuación de gases de combustión

##### 6.1.1 Diseño de la chimenea

Básicamente es el único componente del sistema, pero hay que diseñar correctamente la chimenea, por lo que se realizara el cálculo de su diámetro. Se va a calcular la chimenea siguiendo la norma (Del & Une, 2017).

Para esto se necesita varios datos de partida:

- Combustible: diésel
- Potencia nominal del caldero: 15 BHP = 147 kW
- Rendimiento del caldero: Por motivos de diseño se toma un valor de 100%
- Altura de la chimenea: 6 m
- Porcentaje de oxígeno: 4.6 %
- Porcentaje de CO: 0.008 % = 8 ppm
- Porcentaje de  $CO_2$ : 12.2 %
- Exceso de aire en la combustión: 26.2%
- Temperatura del aire de entrada al quemador: 15 °C
- Temperatura media de los humos en la chimenea: 142 °C

Primero se calcula el caudal másico de los productos de la combustión podrá calcularse, con muy buena aproximación, mediante la siguiente ecuación 12 que refiere al caudal másico de gases de combustión:

$$\dot{m} = 1.2 (PF + EA \times PC) \frac{P}{n PCI} \quad (12)$$

Donde:

$\dot{m}$ : Caudal másico (kg/s)

*PF*: Poder Fumífero (cantidad de gases resultante de la combustión con aire estequiométrico de una unidad de masa o volumen de combustible, referida a las condiciones normalizadas), (Nm<sup>3</sup>/kg)

*EA*: Exceso de aire en la combustión

*PC*: Poder Comburífero (cantidad estequiométrica de aire seco necesario para la combustión completa de una unidad de masa o volumen de combustible, referida a las condiciones normalizadas), (Nm<sup>3</sup>/kg)

*n*: Rendimiento del caldero

*PCI*: Poder calorífico inferior del combustible (kJ/kg)

*P*: Potencia nominal del caldero (kW)

Como dato del diésel se tiene lo siguiente:

- PCI = 42 300 kJ/kg
- PC = 11.5 Nm<sup>3</sup>/kg
- PF = 12.3 Nm<sup>3</sup>/kg

Los datos sacados anteriormente son de obtenidos de la Pagina de Petro Ecuador.

Con estos valores se puede calcular el caudal másico de gases de combustión de la siguiente manera:

$$\dot{m} = 1.2 (12.3 + 0.262 \times 11.5) \frac{147}{1 \times 42300}$$

$$\dot{m} = 0.063 \text{ kg/s}$$

Otra forma de calcular el caudal másico es mediante los elementos de gases de combustión de la ecuación 13:

$$m_{gs} = \%C_f \left( \frac{4CO_2 + O_2 + 700}{3(CO_2 + CO)} \right) \quad (13)$$

Donde:

$m_{gs}$ : Masa de los gases secos a la salida de la caldera en Kg por Kg de combustible quemado

$CO_2$ : Porcentaje de dióxido de carbono en gases de combustión

$O_2$ : Porcentaje de oxígeno en gases de combustión

$CO$ : Porcentaje de monóxido de carbono en gases de combustión

$\%C_f$ : Porcentaje de carbono real quemado por Kg de combustible

Teniendo como dato los resultados del analisis de gases de combustión:

- $CO = 8 \text{ ppm}$
- $O_2 = 4.6 \%$
- $CO_2 = 12.2 \%$

Datos obtenido de la zonda para analizar los gases de combustion.

Se puede calcular la masa de gases de combustión.

$$m_{gs} = 0.85 \left( \frac{4(12,2) + 4.6 + 700}{3(12,2 + 0.008)} \right) = 17.485 \frac{Kg}{Kgcomb}$$

Ahora se puede calcular el consumo de combustible conociendo la potencia nominal del caldero y el poder calorífico inferior del combustible, asumiendo una eficiencia del 100% por motivo de diseño. Ver ecuación 14.

$$C_{combustible} = \frac{\varphi \text{ BHP} \times 8436 \text{ kcal/h}}{PCI} \quad (14)$$

Donde:

$C_{combustible}$ : Consumo de combustible (kg/h)

$\varphi \text{ BHP}$ : Potencia nominal del caldero (BHP)

$PCI$ : Poder calorífico inferior del combustible (kcal/kg)



Entonces se tiene lo siguiente:

$$C_{combustible} = \frac{15 \times 8436 \text{ kcal/h}}{10110 \text{ kcal/kg}}$$

$$C_{combustible} = 12.516 \text{ kg comb/h}$$

Si se multiplica este valor por la masa de gases de combustión por kg de combustible se tiene el caudal másico de gases de combustión.

$$\dot{m} = m_{gs} \times C_{combustible}$$

$$\dot{m} = 17.485 \frac{\text{kg}}{\text{kg comb}} \times 12.516 \frac{\text{kg comb}}{\text{h}}$$

$$\dot{m} = 218.847 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 0.061 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Como se puede observar es un valor muy parecido al obtenido por el primer procedimiento. Ahora para hallar el caudal volumétrico de los productos de la combustión, en m<sup>3</sup>/s, se dividirá el caudal másico, por la densidad media de los gases de combustión, oportunamente corregida por temperatura y altitud.

$$\dot{v} = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

Donde:

$\dot{v}$ : Caudal volumetrico (m<sup>3</sup>/s)

$\rho$ : Densidad media de los gases de combustión (kg/m<sup>3</sup>)

La densidad media de los gases compensando la altura sobre el nivel del mar es ver ecuación 15:

$$\rho = \frac{101\,325 (1 - 0.00012 A)}{R \times T} \quad (15)$$

Donde:

$\rho$ : Densidad media de los gases de combustión (kg/m<sup>3</sup>)

$A$ : Altitud sobre el nivel del mar (m)

$R$ : Constante de elasticidad de los gases (J/kg.K)

$T$ : Temperatura de los gases (K)

La constante de elasticidad de los gases, está definida como relación entre la constante universal de los gases y el peso medio ponderal molecular del gas. Para el diésel es 290 J/kg.K, y conociendo que la altura sobre el nivel del mar en Sangolquí es 2600 metros se tiene lo siguiente:

$$\rho = \frac{101\,325 (1 - 0.00012 \times 2600)}{290 \times (142 + 273.15)}$$

$$\rho = 0.58 \frac{kg}{m^3}$$

Entonces el caudal volumétrico de los gases de combustión es:

$$\dot{v} = \frac{0.063 \frac{kg}{s}}{0.58 \frac{kg}{m^3}}$$

$$\dot{v} = 0.108 \frac{m^3}{s}$$

Ahora se tomará una expresión para determinar una velocidad media de los gases en función del caudal másico ver ecuación 16 que refiere a una aproximación de la velocidad media de los gases.

$$v = 7.1 + 2.03 x + 0.25 x^2 - 0.526 \times 10^{-3} x^3 - 3.109 \times 10^{-3} x^4 \quad (16)$$

Donde:

$v$ : Velocidad media de los gases (m/s)  
 $x = \ln(\dot{m})$

Reemplazando los valores se tiene:

$$v = 7.1 + 2.03 x + 0.25 x^2 - 0.526 \times 10^{-3} x^3 - 3.109 \times 10^{-3} x^4$$

$$v = 3.22 \frac{m}{s}$$

Finalmente se puede calcular la sección transversal de la chimenea:

$$As = \frac{\dot{v}}{v}$$

$$As = \frac{0.108 \frac{m^3}{s}}{3.22 \frac{m}{s}}$$

$$As = 0.03345 m^2$$

Por simple geometría se puede calcular el diámetro de la chimenea.

$$D = \sqrt{\frac{As \times 4}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{0.03345 \times 4}{\pi}}$$

$$D = 0.206 m = 20.6 cm \approx 8 "$$

También, el tiro térmico (o natural) provocado por la diferencia de densidad entre el gas en el interior de la chimenea y el aire exterior está dado, en Pa, por la siguiente ecuación 16:

$$Tn = g \times H \times (\rho_e - \rho_g) \quad (17)$$

Donde:

$Tn$ : Tiro natural (Pa)

$g$ : Aceleración de la gravedad, 9.81 m/s<sup>2</sup>

$H$ : Altura eficaz, representa la distancia vertical entre la salida de gases del caldero (su eje, si la boca es vertical) y la boca de salida de la chimenea (m)

$\rho_e$ : Densidad del aire exterior (kg/m<sup>3</sup>)  $\rho_e = 1.2 \text{ kg/m}^3$

$\rho_g$ : Densidad de los gases (kg/m<sup>3</sup>)

Luego de sustituir los valores se tiene lo siguiente:

$$Tn = 9.81 \times (7 + 1.2) \times (1.2 - 0.58)$$

$$Tn = 49.87 \text{ Pa} = 0.007 \text{ psi}$$

En la características de la chimenea.

**Tabla 70** se detallan las características de la chimenea.

**Tabla 70.**

*Características de la chimenea*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	N/A
Ensamble	Atornillado, sellos de silicón de alta temperatura
Material	Acero galvanizado
Espesor	1 mm
Codos	2 unidades de 45°
Longitud horizontal	2 m
Dámper	Si
Termómetro	Si
Toma de muestras	Si, a 8 diámetros de la última perturbación

### 6.1.2 Termómetro de chimenea

El termómetro de chimenea que se muestra en la **Figura 92**, es un elemento muy importante ya que es un indicador del estado del caldero, rápidamente según su lectura se puede saber si el caldero está siendo o no eficiente. Las características del termómetro se muestran en la **Tabla 71**.



**Figura 92.** Termómetro chimenea

Fuente: Clayton

**Tabla 71.**

*Características del termómetro de chimenea*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	TEL TRU
Rango	0 – 250 °C
Diámetro del dial	2"

## CAPITULO VII

### 7.1 Diseño del sistema de control

#### 7.1.1 Control del nivel de agua en el caldero

El control del nivel del agua en el caldero es muy importante para la seguridad, se lo realizará con controles de nivel por conductividad eléctrica como se muestra en la **Figura 93**. Estos controles necesariamente deben introducir un electrodo metálico en el fluido para determinar su nivel por el cambio de resistencia en sus terminales.



**Figura 93.** Controles de nivel por conductividad

Fuente: Grundfos Literature 2017

El nivel del agua se mantiene dentro de un rango óptimo para el correcto funcionamiento del caldero ya que el sistema de control activa o desactiva la bomba de alimentación de agua según sea el caso, por lo que se puede decir que mientras el sensor más alto no tope el agua la bomba siempre estará activada, esto lo logra el sistema de control activando o desactivando la bobina del contactor de la bomba. De igual manera si por algún motivo el nivel descendiera del límite de seguridad o del

electrodo más bajo ya sea del recipiente de medición de nivel o del caldero, el sistema de control desactivará inmediatamente el quemador por motivo de seguridad.

#### 7.1.1.1 Elementos del control de nivel de agua

Los elementos serán detallados en la **Tabla 72**, donde se podrá observar las características y requerimientos que deben cumplir.

**Tabla 72.**

*Elementos del control de nivel de agua*

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Electrodos de nivel	Marca: Fulton Cuerpo: Bronce Rosca: NPT ½" Presión de operación: 250 psi
Control de nivel, Bomba de alimentación	Marca: Fulton Alimentación: 110V Base: 16 polos
Control de nivel, Quemador	Marca: Fulton Alimentación: 110V Base: 16 polos
Contactador de la bomba de agua	Corriente: 10 A Tipo: 3 polos Bobina: 110V
Control de fuego del quemador	Marca: Beckett Modelo: Genesys Alimentación: 110 V Pre purga: 30 s
Contactador de motor de quemador	Corriente: 10 A Tipo: 3 polos Bobina: 110V

### 7.1.2 Control de presión en el caldero

El caldero logra generar vapor y llegar a una cierta presión gracias a la energía proporcionada por el quemador. El sistema de control mediante un switch de control de presión que se muestra en la **Figura 94**, detecta la presión a la que se encuentra el caldero y ordena encender o apagar el quemador según sea el caso. Cuando la presión es suficiente vence la fuerza de un resorte abriendo un contacto NC y apagando el quemador, pero si la fuerza no es suficiente el resorte no se moverá y el quemador permanecerá encendido hasta que logre la presión adecuada.



**Figura 94.** Switch de presión

Fuente: (Honeywell catálogo, 2017)

Existe otro switch de presión denominado de seguridad que está configurado un pequeño valor más alto que el switch de control, este switch también apaga el quemador si la presión excede sobre el valor que fue configurado. También este switch dispone de un reset manual ya que si en algún momento llegara a desactivar el quemador no se podrá encender el mismo sin antes resetear manualmente.

#### 7.1.2.1 Elementos del control de presión en el caldero

Los elementos serán detallados en la **Tabla 73**, donde se podrá observar las características y requerimientos que deben cumplir.



**Tabla 73***Elementos del control de presión del caldero*

<b>ELEMENTO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Switch de presión de operación	Marca: Honeywell Rosca: NPT ¼" Presión de operación: 250 psi Seteado: 60 psi Diferencial: Substractivo 10 psi
Switch de presión de seguridad	Marca: Honeywell Rosca: NPT ¼" Presión de operación: 250 psi Seteado: 70 psi Diferencial: NO Reset: SI
Control de fuego del quemador	Marca: Beckett Modelo: Genesys Alimentación: 110 V Pre purga: 30 s
Contactador de motor de quemador	Corriente: 10 A Tipo: 3 polos Bobina: 110V

**7.1.3 Control de llama en el quemador**

Como ya se explicó anteriormente el sistema de control puede activar o desactivar el quemador dependiendo de las necesidades y las seguridades que se disponga. Pero también el quemador necesita su propio sistema de control que es el que detecta si existe o no llama dentro de la cámara de combustión.

El sistema de control está dirigido por un control de fuego marca GENESYS, ver **Figura 95**, el cual controla los tiempos de pre purga y encendido del quemador. Esto lo realiza con la ayuda de una fotocelda IR.



**Figura 95.** Control de fuego Genesys

Fuente: (Beckett catálogo, 2018)

### 7.1.3.1 Elementos del control de llama del quemador

Los elementos serán detallados en la **Tabla 74**, donde se podrá observar las características y requerimientos que deben cumplir.

**Tabla 74**

*Elementos del control de llama del quemador*

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Control de fuego del quemador	Marca: Beckett Modelo: Genesys Alimentación: 110 V Pre purga: 30 s
Fotocelda	Marca: Beckett Modelo: C554A Tipo: Infrarrojo
Contactador de motor de quemador	Corriente: 10 A Tipo: 3 polos Bobina: 110V

Un aspecto muy importante dentro del control y seguridad del caldero es que, si por alguna razón el control fallara y la presión se elevaría, entonces se activarían las descargas de las válvulas de alivio o seguridad mostradas en la **Figura 96**, que están colocadas solo para este fin. Los detalles de las válvulas de alivio se muestran en la **Tabla 75**.



**Figura 96** Válvula de alivio

Fuente: (Genebre catálogo, 2017)

**Tabla 75.**

*Características de las válvulas de alivio*

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Marca	GENEBRE
Material	Bronce
Diámetro nominal de conexión	DN ¾"
Diámetro nominal de descarga	DN ¾"
Seteado	90 psi

## CAPÍTULO VIII

### PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 8.1 Pruebas de funcionamiento de los sistemas periféricos

Aquí se detallará todas las pruebas de funcionamiento realizadas a los sistemas periféricos del caldero que fueron diseñados, construidos e implementados.

##### 8.1.1 Pruebas del sistema de alimentación de agua

En primer lugar, se verifica si no hay fugas en el sistema de tubería, luego se comprueba que las válvulas estén en la posición necesaria para el flujo o la restricción de paso de agua. En este punto se verifica que el tanque de condensado se llene adecuadamente y que al llegar a un cierto nivel la válvula de flotador cierre el ingreso de agua.

Una vez lleno el tanque de condensado se procede a alimentar la succión de la bomba de agua, aquí se debe tomar en cuenta que hay que cebar la bomba para evitar daños en los impulsores por trabajar en seco.

Antes de activar la bomba se debe verificar el sentido de giro de la misma, con la ayuda de un desarmador de bornera para dar un pulso al contactor de la bomba. Por último, se procede a alimentar el agua del caldero y comprobar que el control de nivel trabaje apagando la bomba cuando el agua tope el electrodo de nivel más alto. Ver

**Tabla 76.**

**Tabla 76.**

*Verificación del funcionamiento del sistema de alimentación de agua*

PARÁMETRO	CUMPLIMIENTO
Ninguna fuga en el sistema	SI
Llenado correcto del tanque de condensado	SI
Cierre de la válvula de flotador	SI
Levantamiento de la presión por parte de la bomba	SI
Llenado adecuado de la caldera hasta su nivel de trabajo	SI

### 8.1.2 Pruebas del sistema de alimentación de combustible

En primer lugar, se verifica si no hay fugas en el sistema de tubería, luego se comprueba que las válvulas estén en la posición necesaria para el flujo o la restricción de paso de agua. Es importante señalar que siempre se debe abastecer de combustible a la bomba ya que si trabaja en seco por mucho tiempo sufrirá graves daños.

El momento en que se encienda el quemador la bomba de combustible va empezar a succionar diésel y a su vez a retornar diésel hacia el tanque de diario. Aquí es importante revisar que la bomba esta acoplada correctamente al eje del motor del quemador. Ver **Tabla 77**.

**Tabla 77.**

*Verificación del funcionamiento del sistema de alimentación de combustible*

PARÁMETRO	CUMPLIMIENTO
Ninguna fuga en el sistema	SI
Llenado correcto de la línea de succión	SI
Levantamiento de la presión por parte de la bomba	SI
Retorno de combustible al tanque de diario	SI

### 8.1.3 Pruebas del sistema de purgas

En primer lugar, se verifica si no hay fugas en el sistema de tubería, esta prueba debe realizar cuando el caldero haya elevado su presión a por lo menos 30 psi. Se abre las válvulas de purga rápida y lenta y se verifica que el flujo sea el adecuado hasta la fosa de enfriamiento de purgas. Ver **Tabla 78**.

**Tabla 78.**

*Verificación del funcionamiento del sistema de purgas*

PARÁMETRO	CUMPLIMIENTO
Ninguna fuga en el sistema	SI
Apertura adecuada de válvula de purga rápida y lenta	SI
El condensado llega sin restricción a la fosa de purgas	SI
Retorno de combustible al tanque de diario	SI

### 8.1.4 Pruebas del sistema de control

Una vez encendido el equipo se verifica que exista el suficiente nivel de agua en el interior del caldero, para luego encender el quemador. Luego del quemador ya encendido se realizó pruebas de funcionamiento del control de nivel, se abre la válvula de purga del visor de nivel, con esto se logra que en primer lugar se active la bomba de agua y posteriormente se desactive el quemador.

De la misma manera se verificó el funcionamiento del sistema de control de presión del caldero, donde se estableció una presión que debía alcanzar el caldero y luego de éste llegar a dicha presión se desconectó el caldero.

El control del quemador funciona correctamente debido a que cumplió con los tiempos de purgas establecidos y su fotocelda detecta correctamente las señales de la llama. Ver **Tabla 79**.

#### **Tabla 79.**

##### *Verificación del funcionamiento del sistema de control*

PARÁMETRO	CUMPLIMIENTO
Verifica el nivel de agua antes de encender el quemador	SI
Quemador enciendo correctamente	SI
Fotocelda detecta llama de forma rápida y precisa	SI
Enciende la bomba de agua automáticamente por nivel bajo	SI
Apaga el quemador por bajo nivel	SI
Apaga el quemador por presión alta	SI

### 8.1.5 Pruebas del sistema de evacuación de gases de combustión

Luego de probar todas las seguridades y controles de los sistemas del caldero se procede a encender el quemador para generar vapor, al encender el quemador se generan gases de combustión estos salieron sin complicaciones por la chimenea construida específicamente para el caldero. Se verificó la temperatura de chimenea y por último se realizó la medición de gases de combustión pertinente.

En este punto cabe señalar que se planificó utilizar un equipo analizador de gases marca TESTO modelo 350 que dispone el departamento de energías del DECEM como parte del proyecto, pero lamentablemente por su tiempo sin funcionamiento sufrió daños en los sensores, específicamente el sensor de oxígeno. Es por esto que se realizó la medición con un equipo facilitado por la empresa RETENA S.A. marca BACHARACH modelo PCA3, obteniendo los resultados mostrados en la **Figura 97**.

BACHARACH	
BACHARACH, INC.	
PCA 3	
SN: UU1009	
-----	
Hora:	01:37:51 PM
Fecha:	03/05/18
-----	
Combustible	
ACE2	
O <sub>2</sub>	4.6 %
CO	8 ppm
Eff	88.4 %
CO <sub>2</sub>	12.2 %
T-Stk	142 °C
T-Air	14.9 °C
EA	26.2 %
CO (O)	10 ppm
NO	54 ppm
NO <sub>2</sub>	*** ppm
NO <sub>x</sub>	*** ppm
SO <sub>2</sub>	*** ppm
NO (O)	69 ppm
NO <sub>2</sub> (O)	*** ppm
NO <sub>x</sub> (O)	*** ppm
SO <sub>2</sub> (O)	*** ppm
-----	
Comentarios:	

**Figura 97.** Resultados de análisis de gases de combustión con equipo BACHARACH

**Tabla 80.**

*Verificación del funcionamiento del sistema de control*

PARÁMETRO	CUMPLIMIENTO
Evacuación de gases de combustión	SI
Parámetros de combustión dentro de lo establecido	SI

### 8.1.6 Pruebas del sistema de abastecimiento de vapor

Una vez que el caldero haya llegado a la presión de operación se abre la válvula de descarga del caldero lentamente hasta llenar toda la tubería de vapor hasta la entrada al concentrador, se verifica que no existan fugas. Luego se abre la válvula de alimentación del concentrador y se deja estabilizar, aquí empieza a trabajar la trampa de balde invertido retornando el condensado desde el concentrador al tanque de condensado.

Luego se verifica una por una cada línea de tubería para los equipos dependientes, constatando que no exista fugas, del correcto funcionamiento de las reductoras de presión y de las trampas seleccionadas. Ver **Tabla 81**.

**Tabla 81.**

*Verificación del funcionamiento del sistema de abastecimiento de vapor*

PARÁMETRO	CUMPLIMIENTO
Ninguna fuga en el sistema	SI
Correcto trampeo de condensado	SI
Reductoras de presión calibradas correctamente	SI
Tubería estable, bien soportada	SI

### 8.2 Comparación del estado actual vs el estado inicial del caldero

Para facilitar el entendimiento de los estados actual e inicial como se ve en la **Figura 98** y **Figura 99**, respectivamente, además se realizará una **Tabla 82** donde se especificará todos los parámetros.



**Tabla 82.***Estado actual vs estado inicial del equipo*

<b>SISTEMA O ELEMENTO</b>	<b>ESTADO INICIAL</b>	<b>ESTADO ACTUAL</b>
Sistema de alimentación de agua	No existe	Nuevo Operativo
Bomba de agua	No funciona	Reparado Operativo
Sistema de alimentación de combustible	No existe	Nuevo Operativo
Quemador	No funciona Faltan partes	Reparado Operativo
Bomba de combustible	No existe	Nuevo Operativo
Sistema de abastecimiento de vapor	No existe	Nuevo Operativo
Sistema de purgas	No existe	Nuevo Operativo
Sistema de control	Obsoleto Faltan partes No funciona	Nuevo Operativo
Caldero	Sucio Faltan partes No funciona	Reparado operativo
Sistema de evacuación de gases de combustión	No existe	Nuevo Operativo



**Figura 98.** Estado actual del caldero FULTON



**Figura 99.** Estado inicial del caldero FULTON

### 8.3 Determinación de la eficiencia del caldero

En base a los datos medidos en sitio de la Figura 97 se puede determinar lo siguiente. Matematicamente la eficiencia se calcula de la siguiente ecuación 18 y para el calor total ver ecuación 19:

$$\eta = \frac{Q_{\text{ABSORBIDO}}}{Q_{\text{TOTAL}}} = \frac{Q_{\text{TOTAL}} - Q_{\text{PÉRDIDAS}}}{Q_{\text{TOTAL}}} = 1 - \frac{Q_{\text{PÉRDIDAS}}}{Q_{\text{TOTAL}}} \quad (18)$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = PCS_{\text{comb}} \times W_c \quad (19)$$

Donde:

$PCS_{\text{comb}}$ : Poder calórico superior del combustible

$W_c$ : Consumo del combustible

Por otro lado, para calcular la eficiencia de un caldero se debe conocer el calor debido a pérdidas, dichas pérdidas se deben a:

Combustión:

- Agua procedente de la combustión del hidrógeno.
- Humedad en el aire.
- Gases secos de la chimenea.
- Combustión incompleta.
- Hidrógeno o hidrocarburos sin quemar, radiación y otras pérdidas.

Entonces el calor perdido sería:

#### **Perdidas por combustion**

Agua procedente de la combustión del hidrógeno

El hidrógeno del combustible al quemarse se transforma en agua, la cual abandona el caldero en forma de vapor y se calcula con la ecuación 20:

$$P_1 = 9H_2(h_g - h_f) \quad (20)$$

Donde:

$P_1$  : Pérdidas de calor en Kcal por Kg de combustible quemado

$H_2$ : Peso en Kg de  $H_2$  por Kg de combustible quemado

$h_g$ : Entalpía del vapor recalentado a la Temperatura de los gases de chimenea y a una presión absoluta de 0.07 kg/cm<sup>2</sup> en Kcal/Kg

$h_f$ = Entalpía del agua a la temperatura a la cual el combustible entra 30°C, (Kcal/Kg)

$$H_2 = 15\% \text{ de hidrogeno por cada Kg de diésel}$$

$$H_g = 653.61 \text{ Kcal/Kg entalpia de vapor de agua a } 142^\circ\text{C}$$

$$H_f = 30 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \text{ entalpia del agua a } 30^\circ\text{C}$$

$$P_1 = 9 \times 0.15 \times (653.61 - 30) \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$P_1 = 841.87 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}_{comb}}$$

Equivalente a un porcentaje de pérdida del 8.14 %

### Humedad en el aire

Ver ecuación 21:

$$P_2 = 0.46 m_{as} m_v (T_g - T_a) \quad (21)$$

Donde:

$P_2$ : Pérdidas de calor, en Kcal por Kg de combustible quemado

$m_{as}$ : Peso real de aire seco utilizado por kilogramo de combustible

$m_v$ : Porcentaje de saturación expresado en forma decimal multiplicado por el peso de vapor de agua requerido para saturar 1Kg de aire

$T_g$ : Temperatura de los gases de combustión ala salida del caldero en °C

0.46 : Calor específico medio del calor de agua desde  $T_g$  a  $T_a$

$T_a$ : Temperatura del aire al entrar al hogar del caldero en °C

Donde a su vez:

$$m_{as} = (1 + X) \left[ 11.5C + 34.5 \left( H - \frac{1}{8}O \right) + 4.32N \right]$$

X : Exceso de aire

$$m_{as} = (1 + 0.262)[11.5(0.85) + 34.5(0.15) + 4.32(0)]$$

$$m_{as} = 18.867 \frac{Kg}{Kg_{comb}}$$

$$P_2 = 0.46(18.867)(0.7 * 0.01847)(142 - 24)$$

$$P_2 = 13.241 \frac{Kcal}{Kg_{comb}}$$

Equivalente a un porcentaje del 0.128 %

### Gases secos de la chimenea

Ver ecuacion 22:

$$P_3 = m_{gs} C p_{gs} (T_g - T_a) \quad (22)$$

Donde:

$P_3$ : Pérdidas de calor, en Kcal por Kg de combustible quemado

$m_{gs}$ : Peso de los gases secos a la salida de la caldera en Kg por Kg de combustible quemado. Ver ecuacion 23.

$Cp_{gs}$ : Calor específico medio de los gases secos (valor aproximado= 0.24)

Donde a su vez:

$$m_{gs} = \%C_f \left( \frac{4CO_2 + O_2 + 700}{3(CO_2 + CO)} \right) \quad (23)$$

$$CO = 8 \text{ ppm}$$

$$O_2 = 4.6 \%$$

$$CO_2 = 12.2 \%$$

$$m_{gs} = 0.85 \left( \frac{4(12,2) + 6 + 700}{3(12,2 + 0.008)} \right) = 17.485 \frac{Kg}{Kg_{comb}}$$

$$P_3 = 17.485 * 0.24 * (142 - 24)$$

$$P_3 = 495.175 \frac{Kcal}{Kg_{comb}}$$

Equivalente a un porcentaje del 4.789 %

### Combustion incompleta

$$P_4 = \left( \frac{CO}{CO_2 + CO} \right) \times 5689.6 \times C_1$$

Donde:

$P_4$ : Pérdidas de calor, en Kcal por Kg de combustible quemado

$CO$  y  $CO_2$ : Porcentaje en volumen respectivamente de Monóxido y Bióxido de carbono determinado por análisis de los gases de combustión

$C_1$ : Peso del carbono realmente quemado por kilogramo de combustible

$$P_4 = \left( \frac{0.008}{12,2 + 0.008} \right) \times 5689.6 \times 0.85$$

$$P_4 = 3.17 \frac{Kcal}{Kg_{comb}}$$

Equivalente a un porcentaje del 0.03 %

### Radiación.

Por lo general los fabricantes de equipos proporcionan el dato de pérdidas por radiación, o bien se puede calcular a partir de la ley de Stefan-Boltzman, la cual tiene que ver con la cantidad de energía radiante emitida por un cuerpo también llamado calor radiado. Esta ley manifiesta que dicho calor radiado por un cuerpo es proporcional a su temperatura absoluta elevada a la cuarta potencia. Ver ecuación 24.

$$P_5 = \alpha K_B A T^4 \quad (24)$$

Donde:

$P_5$ : Pérdidas de calor por radiación

$\alpha$ : Coeficiente que depende de la naturaleza del cuerpo,  $\alpha = 1$  para un cuerpo negro perfecto

$K_B$ : Constante de Stefan-Boltzmann con un valor de  $5.67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$

$A$ : Área de radiación

$T$ : Temperatura del cuerpo

Además, por norma se sabe que la superficies de calderos de vapor debe ser máximo de 60 °C (333.15 K)

Para el caldero FULTON se tiene que el area es aproximadamente  $6.75 \text{ m}^2$ , entonces se tiene:

$$P_5 = 0.8 \left( \frac{5.67 \times 10^{-8} \text{ W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} \right) (6.75)(333.15 \text{K})^4$$

$$P_5 = 3771.69 \text{ W}$$

Si el consumo de combustible es el calculado anteriormente, se tiene lo siguiente:

$$C_{combustible} = 12.516 \text{ kg comb/h}$$

$$P_5 = 259.11 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}_{comb}}$$

Equivalente a un porcentaje del 2.51 %

Aplicando una sumatoria de perdidas con los valores antes mencionados tenemos

$$P\acute{e}rdida = 841.87 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} + 13.241 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}} + 495.175 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} + 3.17 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}} + 259.1 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}}$$

$$P\acute{e}rdida = 1612.556 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

Conociendo que el poder calorifico del Diesel en el caso particular es de 10340 Kcal/kg y tenemos una perdida de 1612.556 Kcal/Kg equivalente al 15.6 %.

Entonces la eficiencia maxima de la caldera en condiciones normales de operaci3n sera (100-15.6) de 84.5 %.

#### 7.4 Determinaci3n de la evaporaci3n real

Te3ricamente la evaporaci3n nominal ser3 ver ecuaci3n 25:

$$m = 15 \text{ BHP} \times \frac{15.65 \text{ Kg/h}}{1 \text{ BHP}} \quad (25)$$

$$m = 234.75 \text{ kg/h}$$

Por definici3n de BHP se tiene:



$$Q = \#BHP \times \left( \frac{8346 \text{ Kcal/h}}{1 \text{ BHP}} \right)$$

$$Q = m C_p \Delta T + m \Delta h$$

$$m = \frac{Q}{C_p \Delta T + \Delta h}$$

Para el vapor a 60 psi se tiene:

$$T_{sat} = 159.955 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$h_{fg} = 502.724 \text{ Kcal/Kg}$$

$$h_g = 656.814 \text{ Kcal/Kg}$$

$$h_f = 154.091 \text{ Kcal/Kg}$$

$$m = \frac{8436 \text{ Kcal/h} \times 15 \text{ BHP}}{1 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C} \times (152.955 - 50) \text{ } ^\circ\text{C} + (656.814 - 154.091) \text{ Kcal/Kg}}$$

$$m = 208.928 \text{ Kg/h}$$

Otra forma de calcular la evaporación real del equipo es:

$$W_s = BHP \times 15.65 \text{ Kg/h} \times FE$$

$$FE = \frac{h_{fg}(P_{atm})}{h_g(P_o) - h_f(T_{H_2Oalim})}$$

Presión atmosférica de Sangolquí se muestra en la **Figura 100**.



**Figura 100.** Estado del clima en Sangolquí

Fuente: (Eart Maps, 2018)

$$P_{atm} = 693.64 \text{ hPa} = 0.69364 \text{ bares}$$

$$h_{fg}(P_{atm}) = 545.559 \text{ Kcal/Kg}$$

$$P_o = 60 \text{ psi}$$

$$h_g(P_o) = 656.814 \text{ Kcal/Kg}$$

$$T_{H_2Oalim} = 24^\circ\text{C}$$

$$h_f(T_{H_2Oalim}) = 24 \text{ Kcal/Kg}$$

$$FE = \frac{545.559 \text{ Kcal/Kg}}{656.814 \text{ Kcal/Kg} - 24 \text{ Kcal/Kg}} = 0.87$$

$$Ws = 15 \text{ BHP} \times 15.65 \text{ Kcal/h} \times 0.87 = 204.23 \text{ Kg/h}$$

## Conclusiones

- Se estudió y comprendió la teoría sobre el caldero FULTON, comenzando el estudio desde generalidades, un concepto general de calderos, tipos de calderos entre otros, y encasillándolo al caldero FULTON en donde corresponda. De esta manera se pudo conocer su estructura, su funcionamiento y sus requerimientos que luego se transformaron en los sistemas periféricos del caldero necesarios para una buena operación. También dentro del desarrollo del marco teórico se pudo obtener información para que el diseño de los sistemas periféricos no sea tan complejo.
- Se realizó el diseño y construcción de las tuberías de los sistemas periféricos del caldero, así como también de componentes mecánicos necesarios para la implementación de estos sistemas. También es importante resaltar la selección del tipo de accesorios que se usaron en la construcción e implementación de los sistemas. Todos los sistemas periféricos cumplen con las especificaciones necesarias para satisfacer los requerimientos del caldero y así funcionar correctamente. Por último, se implementó un sistema de abastecimiento de vapor a 15 psi, para esterilización y limpieza de equipo y herramientas.
- El estado actual del caldero FULTON se puede establecer mediante parámetros de operación normal. El caldero FULTON es un caldero pirotubular de tiro forzado, que utiliza diésel como combustible y trabaja a una presión de operación de 60 psi. Por nuestra parte se entrega un caldero que tiene una eficiencia térmica de 84.6 %, que cuenta con todos los sistemas periféricos necesarios para su correcto funcionamiento completamente operativos.
- Se realizó un nuevo diseño del sistema de control, para manejar de mejor manera el tema de encendido del quemador. Se adquirió switches de presión

nuevos, se colocó electrodos de conductividad nuevos y se adquirió un control de fuego nuevo, modelo GENESYS que mejora completamente los encendidos y la eficiencia de combustión del quemador, que a la larga se transforma en dinero de ahorro.

## Recomendaciones

- Se recomienda realizar una dosificación adecuada de químico para el tratamiento del agua de alimentación, debido a que no se cuenta con un sistema automático que lo haga y solo se colocó una dosis fuerte inicial el momento del mantenimiento del caldero, corriendo así un riesgo alto de daños mayores en el caldero incluido explosiones. Incluso el laboratorio del DECEM cuenta con una bomba de dosificación que puede ser implementada.
- En promedio en la industria se ahorra por lo menos el 1% de consumo de combustible con el solo hecho de aislar térmicamente las tuberías y tanques de condensado, que en términos de dinero representa en valor alto. Por esta razón se recomienda como un proyecto posterior o mejora del laboratorio colocar el aislamiento térmico a las tuberías y al tanque de condensado que así lo requiera. Por nuestra parte se entrega un sistema completamente nuevo funcional, pero sin recubrimiento debido a los costos del mismo.
- Se recomienda crear una práctica de laboratorio donde se pueda realizar el análisis del caldero, para poder realizar balances de masa y energía y determinar la eficiencia del caldero bajo ciertas condiciones de operación
- Se recomienda seguir al pie de la letra el manual de operación y mantenimiento entregado para poder conseguir una vida útil del caldero mucho mayor. De esta manera la universidad se ahorra dinero que puede ser invertido en otras áreas que lo necesitan.

**BIBLIOGRAFIA:**

Aguilar, V. (2009). Mecanica D.E.T.D.E.L. Gabriel,c., Barragan, S. Mecanica. Politécnica, E., Ejército.

Clayton. (2016). Calderas y Periféricos Vapor y Agua Caliente. En Clayton, *Calderas y Periféricos* (pág. 332). España: E & UNe.

Fulton. (2007). Instruction, Operation and Maintenance Manual Fulton Gas Fired Steam Boiles HP (pág. 280).

Fulton Calderas. (2011). Retrieved from <http://www.centrax.mx/fulton/fulton-calderas/>  
INORMA INEN 440. (1984). NORMA INEN 440 Colores de identificación de tuberías.