



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR A TRAVÉS DE LA  
RECUPERACIÓN DEL CONDENSADO EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS**

**Nery Rafael Alvarez González**

Asesorado por el Ing. Efraín Andrés Paíz Cano

Guatemala, abril de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR A TRAVÉS DE LA  
RECUPERACIÓN DEL CONDENSADO EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**NERY RAFAEL ALVAREZ GONZÁLEZ**

ASESORADO POR EL ING. EFRAÍN ANDRÉS PAÍZ CANO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, ABRIL DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

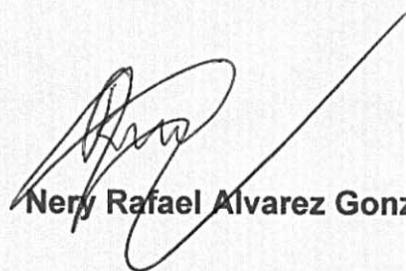
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. Nora Leonor Elizabeth García Tobar
EXAMINADOR	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez
EXAMINADORA	Inga. Mayra Saadeth Arreaza Martínez
SECRETARIO	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez (a.i.)

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR A TRAVÉS DE LA RECUPERACIÓN DEL CONDENSADO EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 20 de julio de 2015.



**Nery Rafael Alvarez González**

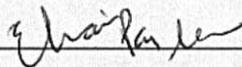
Guatemala, 21 de enero de 2016

Ingeniero  
Juan José Peralta Dardón  
Director de Escuela  
Ingeniería Mecánica Industrial  
Facultad de Ingeniería - USAC

Respetable Director:

Por este medio atentamente le informo que como asesor del estudiante universitario de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, **NERY RAFAEL ALVAREZ GONZÁLEZ**, con carné: **2010-20869**, procedí a revisar el trabajo de graduación titulado **"EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR A TRAVÉS DE LA RECUPERACIÓN DEL CONDENSADO EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS"**.

Habiendo completado el proceso de asesoría y verificado el cumplimiento de los requisitos correspondientes doy por aprobado este trabajo.



Ing. Efraín Andrés Paíz Cano  
Colegiado no. 7675

Efraín Andrés Paíz Cano  
Ingeniero Mecánico Industrial  
Colegiado No. 7.675



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR A TRAVÉS DE LA RECUPERACIÓN DEL CONDENSADO EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS**, presentado por el estudiante universitario **Nery Rafael Alvarez González**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

*Ing. José Rolando Chávez Salazar  
Ingeniero Industrial  
Colegiado No. 4,317*

Ing. José Rolando Chávez Salazar  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, febrero de 2016.

/mgp



REF.DIR.EMI.060.016

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR A TRAVÉS DE LA RECUPERACIÓN DEL CONDENSADO EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS**, presentado por el estudiante universitario **Nery Rafael Alvarez González**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Juan José Peralta Dardón  
**DIRECTOR**  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, abril de 2016.

/mgp

Universidad de San Carlos  
De Guatemala

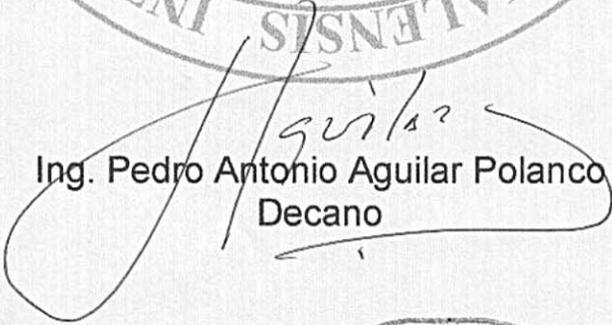


Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.182-2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación, titulado: **EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR A TRAVÉS DE LA RECUPERACIÓN DEL CONDENSADO EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS**, presentado por el estudiante universitario: **Nery Rafael Alvarez González**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, abril de 2016



/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

"Aunque mis ojos no te pueden ver, te puedo sentir, sé que estás aquí, aunque mis manos no pueden tocar tu rostro Señor, sé que estas aquí."

### **Milagroso Señor de Esquipulas**

Por bendecir siempre nuestro hogar e interceder por las peticiones de mi querido padre.

### **Mi padre**

Rafael Alvarez Montezuma, porque tuvo fe y confianza en Dios y en sí mismo. Estuvo dispuesto a cambiar nuestra generación. "Veo su mano guiándome siempre, veo su mano tapando el sol, cubriéndome; lo veo en cada paso que doy, siento su abrazo; su expresión es tan fiel y no hay razón que me haga dudar de su corazón; siento su mano sobre mí, siento su amor y puedo oír sus palabras y su voz siempre es fiel. "

### **Mi madre**

María Teresa González de Alvarez. "Ella es mi novia desde que me acuerdo, amor del bueno desde que la vi, me quiere de insensible o de poeta, de genio, de ministro o de bufón. Mi novia se me está poniendo vieja y yo que me empezaba a enamorar del peso de las cosas

que aconseja de su don universal de perdonar. Aunque la analogía ya es tan obvia sabrás que te hablo solo a ti, mamá.”

### **Mis hermanos**

Diego Ismael Alvarez González y Ronald Estuardo Alvarez González, por ser siempre la fuente de mi inspiración. “Si el cielo que vemos arriba se derrumbara y cayera, o la montaña se desmoronase hacia el mar; no, yo no tendré miedo; no, yo no tendré miedo. Mientras tú estés.”

### **Mi abuelo**

Ciriaco Alvarez Otzoy. “Es un buen tipo mi viejo que anda solo y esperando, tiene la tristeza larga de tanto venir andando. Yo lo miro desde lejos, pero somos tan distintos; es que creció con el siglo con tranvía y vino tinto. Viejo mi querido viejo ahora ya caminas lento; como perdonando al viento; yo soy tu sangre mi viejo, soy tu silencio y tu tiempo, la edad se le vino encima sin carnaval ni comparsa. El dolor lo lleva adentro y tiene historia sin tiempo”.

### **Mi abuelo**

Cecilio González Boror, por la esperanza que me brinda su rostro cada vez que lo veo. “Hoy ya no quiero que pasen los años porque mi padre ya está viejo; se le han cubierto de arrugas sus manos y de nieve sus cabellos. Oh, Señor detén el tiempo, te pido porque tú puedes

hacerlo, porque yo en verdad no entiendo. Mientras tanto dame el brazo y vamos a ver qué vas a decirme. ”

### **Mis abuelas**

Stefana Montezuma de Alvarez y Dominga Boror de González. Sé que desde el cielo interceden por mí, las amo. Amor eterno e inolvidable. “Cómo quisiera que tú vivieras, que tus ojitos jamás se hubieran cerrado nunca y estar mirándome, amor eterno e inolvidable. Tarde o temprano estaré contigo para seguir amándonos”.

### **Mi tía**

Felicita Alvarez Montezuma, por el amor, cariño, respeto y admiración para con mi padre, su apoyo incondicional, sus sabios consejos. Por siempre estar ahí, gracias tía Licha.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XV
GLOSARIO.....	XVII
RESUMEN.....	XXVII
OBJETIVOS .....	XXIX
INTRODUCCIÓN.....	XXXI
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Fundamentos del uso de vapor como fluido energético .....	1
1.2. Distribución del vapor .....	1
1.2.1. Elementos constitutivos de una red de distribución de vapor.....	2
1.2.2. Aspectos que incrementan la eficiencia en sistemas de vapor.....	5
1.2.2.1. Generación de vapor.....	6
1.2.2.2. Distribución de vapor.....	6
1.2.2.3. Consumo de vapor.....	7
1.3. La recuperación de condensados en las redes de vapor .....	7
1.3.1. Sistema de recuperación de condensados.....	7
1.3.1.1. Tipos de sistemas de retorno de condensados.....	8
1.3.1.1.1. Sistema abierto .....	8
1.3.1.1.2. Sistema cerrado .....	9

	1.3.1.1.3.	Sistemas de recuperación venteados vs. presurizados .....	9
1.3.2.		Retorno de condensado y cuando usar bombas de condensado .....	10
	1.3.2.1.	Usar una bomba para vencer la contrapresión.....	11
	1.3.2.2.	Bombas de condensado tipo centrífugas o turbina con motor eléctrico .....	11
	1.3.2.3.	Bombas mecánicas impulsadas por vapor o aire.....	12
1.3.3.		Tubería de recuperación de condensado .....	13
	1.3.3.1.	Tubería para flujo de dos fases.....	13
	1.3.3.2.	Funcionamiento .....	14
	1.3.3.2.1.	Trampa de vapor de balde invertido .....	14
	1.3.3.3.	Métodos de prueba de trampas .....	17
	1.3.3.4.	Administración y mantenimiento de trampas .....	17
2.		ANÁLISIS DE LA RED DE VAPOR.....	19
2.1.		La distribución y uso del vapor .....	19
	2.1.1.	Línea principal .....	19
	2.1.1.1.	Tubería y accesorios .....	20
	2.1.1.2.	Aislamiento térmico .....	22
	2.1.2.	Derivaciones a equipos .....	22
	2.1.2.1.	Tipo de derivación .....	22

	2.1.2.2.	Tubería y accesorios .....	23
	2.1.2.3.	Aislamiento térmico .....	31
2.2.		Retorno de condensados .....	32
	2.2.1.	Línea principal.....	32
		2.2.1.1. Tubería y accesorios .....	33
		2.2.1.2. Aislamiento térmico .....	34
		2.2.1.3. Estaciones de trampeo.....	34
	2.2.2.	Equipos.....	36
		2.2.2.1. Tubería y accesorios .....	36
		2.2.2.2. Aislamiento térmico .....	37
		2.2.2.3. Estaciones de trampeo.....	37
	2.2.3.	Estaciones para bombeo de condensado .....	45
2.3.		Caldera.....	46
	2.3.1.	Especificaciones técnicas .....	46
	2.3.2.	Capacidad actual .....	48
2.4.		Tanque de condensados .....	52
	2.4.1.	Especificaciones técnicas .....	52
	2.4.2.	Capacidad actual .....	53
2.5.		Mantenimiento de la red de vapor.....	53
3.		ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA .....	55
	3.1.	Eficiencia de caldera.....	55
		3.1.1. Combustible .....	55
		3.1.2. Agua de alimentación.....	58
		3.1.3. Gases producto de la combustión .....	61
		3.1.4. Purgas a caldera .....	62
		3.1.5. Calidad de vapor .....	66
		3.1.6. Costo de generación de vapor .....	69
	3.2.	Tanque de condensado .....	72

3.2.1.	Agua fresca de alimentación .....	72
3.2.2.	Agua de recuperación de condensados.....	73
3.2.3.	Porcentaje de vapor <i>flash</i> eliminado al ambiente....	74
3.2.4.	Porcentaje de pérdida energética en el sistema de distribución de vapor.....	78
3.2.5.	Costo por desperdicio energético .....	78
3.3.	Distribución de vapor y retorno de condensados.....	79
3.3.1.	Tubería.....	79
3.3.1.1.	Diámetro .....	79
3.3.1.2.	Aislante térmico .....	85
3.3.2.	Fugas de vapor .....	90
3.3.2.1.	Vapor vivo.....	91
3.3.2.2.	Vapor <i>flash</i> .....	97
3.3.3.	Estaciones de trapeo.....	99
3.3.4.	Estaciones de bombeo de condensados .....	107
3.3.5.	Pérdidas aproximadas de vapor .....	109
3.3.6.	Costos por desperdicio energético .....	110
3.4.	Resultados .....	110
3.5.	Propuesta de mejoras .....	110
3.5.1.	Eficiencia energética a través de la recuperación del condensado .....	110
3.5.2.	Cambio de tubería de recuperación de condensado.....	111
3.5.3.	Aislamiento térmico a tubería .....	111
3.5.4.	Implementación de sistema de recuperación de calor ( <i>Kaeser Kompressoren</i> ).....	112
3.5.4.1.	Costos asociados a la generación de aire comprimido .....	112

4.	IMPACTO AMBIENTAL.....	119
4.1.	Efectos .....	119
4.1.1.	Emisión de gases producto de la combustión en caldera .....	119
4.1.2.	Vapor de agua expulsado al exterior .....	120
4.1.3.	Consumo de agua.....	121
4.2.	Los beneficios de recuperar el condensado.....	121
4.3.	Alternativas.....	122
4.3.1.	Quemador y el sistema de control.....	123
4.3.2.	Procedimientos para los ajustes .....	129
4.3.3.	Sistema articulado motor modulador y compuerta de aire.....	130
4.3.3.1.	Ajuste de la llama del piloto de gas ....	131
4.3.3.2.	Ajuste de la combustión del gas combustible.....	131
4.3.3.3.	Ajuste para la combustión del aceite combustible.....	134
4.3.3.4.	Limpieza de las argas de combustión (Fogon) .....	137
5.	PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR .....	139
5.1.	Diagramas de distribución de vapor.....	139
5.2.	Mantenimiento preventivo.....	154
5.2.1.	Codificación de los elementos de la red de vapor .	154
5.2.2.	Determinación de las actividades de mantenimiento preventivo para los elementos de la red de vapor .....	159
5.2.3.	Mantenimiento y prueba de trampas .....	160

5.2.3.1.	Análisis por termografía .....	164
5.1.1.1.	Inspección visual .....	165
5.2.3.2.	Inspección auditiva .....	165
5.2.3.3.	Reemplazo de partes internas .....	167
5.2.3.4.	Reemplazo de trampas .....	167
5.3.	Costo .....	167
CONCLUSIONES .....		171
RECOMENDACIONES .....		175
BIBLIOGRAFÍA .....		179
ANEXOS .....		183

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Separador de gotas.....	3
2.	Instalación de un purgador en un tramo recto de tubería .....	4
3.	Filtro en línea .....	5
4.	Sistema de recuperación venteado a la atmósfera.....	8
5.	Sistema de recuperación presurizado .....	9
6.	Recuperación de condensado usando bomba centrífuga.....	12
7.	Recuperación de condensado usando una bomba mecánica .....	13
8.	Funcionamiento trampa de vapor de balde invertido, acumulación de condensado.....	14
9.	Funcionamiento trampa de vapor de balde invertido, descarga de condensado.....	15
10.	Funcionamiento trampa de vapor de flotador y termostática .....	16
11.	Diseño y funcionamiento de las trampas de disco controlado .....	16
12.	Funcionamiento de la trampa de vapor termostática .....	17
13.	Cabezal de distribución principal.....	20
14.	Uniones en tuberías de distribución principal .....	21
15.	Medidor de flujo a la salida de caldera .....	21
16.	Aislamiento de la red de distribución de vapor .....	22
17.	Tubería y accesorios de secadora, planta 1 .....	23
18.	Tubería y accesorios de acondicionador, planta 1.....	24
19.	Tubería y accesorios de unidades de extrusión, planta 1 .....	25
20.	Tubería y accesorios de secadora, planta 3.....	26
21.	Tubería y accesorios de ollas de cocción de miel.....	27

22.	Tubería y accesorios de extrusores, planta 3.....	28
23.	Tubería y accesorios de cabeza de unidad extrusora, planta 3.....	29
24.	Tubería y accesorios de tanques de cocción, planta 3.....	29
25.	Tubería y accesorios de calentador de aire .....	30
26.	Tubería y accesorios de acondicionador.....	31
27.	Aislamiento térmico de tubería de derivación.....	32
28.	Línea principal de retorno de condensado .....	33
29.	Estación de trampeo cabezal de distribución principal.....	35
30.	Estación de trampeo de red de distribución de vapor .....	36
31.	Aislamiento térmico de tubería de recuperación de condensado .....	37
32.	Estación de trampeo de secadoras, planta 1 .....	38
33.	Estación de trampeo de acondicionador, planta 1 .....	39
34.	Estación de trampeo de unidad de extrusora, planta 1 .....	39
35.	Estación de trampeo de secadora, planta 3.....	41
36.	Estación de trampeo de ollas de cocción de miel .....	41
37.	Estación de trampeo de extrusor, planta 3.....	42
38.	Estación de trampeo de tanques de cocción, planta 3 .....	43
39.	Estación de trampeo de calentador de aire.....	44
40.	Estación de trampeo de acondicionador, planta 3 .....	44
41.	Estación de trampeo de bomba de condensado 1 .....	45
42.	Estación de trampeo de bomba de condensado 2 .....	45
43.	Caldera Cleaver Brooks modelo CB600:300.....	47
44.	Tanque de almacenamiento de combustible calderas .....	47
45.	Bomba Grundfos CRSUH .....	48
46.	Gráfico libras de vapor vs galones de bunker consumidos .....	52
47.	Tanque de condensados .....	53
48.	Orden de trabajo cerrada.....	54
49.	Kit típico de PCA3 BACHARACH .....	56

50.	Uso adecuado del analizador de combustión .....	57
51.	Muestreo con el analizador de combustión .....	58
52.	Elemento secundario de termocopla y medidor de nivel de tanque de condensado.....	59
53.	Pérdidas de calor por purgas a caldera.....	63
54.	Pérdidas de calor por radiación y convección en caldera .....	64
55.	Temperatura a la que el condensado retorna al tanque de recuperación .....	74
56.	Gráfico porcentaje de vapor flasheado.....	75
57.	Tubería de retorno de condensados, sin material aislante .....	89
58.	Funciones y controles cámara termográfica .....	91
59.	Costo anual de energía por fuga de vapor .....	92
60.	Brida de conexión válvula principal, distribución a planta 3 .....	93
61.	Brida medidor de flujo a cabezal de distribución principal .....	94
62.	Brida de línea de distribución principal .....	94
63.	Válvula reguladora en acondicionador .....	95
64.	Brida de línea de distribución principal .....	95
65.	Entrada principal a intercambiador de calor a línea aceite .....	96
66.	Brida válvula reguladora a extrusor.....	96
67.	Válvula de alivio defectuosa tanque de cocción .....	96
68.	Derivación tubería colgante a ollas válvula defectuosa .....	97
69.	Hojuelador.....	98
70.	Extruder 2 a cabezal .....	98
71.	Colector estación de bombeo.....	98
72.	Trampa de balde invertido.....	99
73.	Válvula <i>check</i> .....	100
74.	Trampa de balde invertido y termostática.....	100
75.	Termografía de trampa termodinámica .....	101
76.	Trampa termodinámica a) .....	102

77.	Trampa termodinámica b).....	103
78.	Trampa termodinámica c).....	104
79.	Trampa termodinámica d).....	105
80.	Trampa termodinámica e).....	106
81.	Trampa de flotador y termostato.....	106
82.	Termografía de estación de bombeo condensado 1.....	107
83.	Termografía de estación de bombeo condensado 2.....	108
84.	Termografía de salida de estación de bombeo condensado 2.....	108
85.	Pérdidas aproximadas de vapor a través de orificios abiertos.....	109
86.	Gráfico de costos por generación de aire comprimido.....	112
87.	Porcentaje de energía en compresores.....	113
88.	Recuperación de calor en compresores de tornillo húmedos.....	113
89.	Compresor de tornillo Kaeser utilizando un intercambiador de calor.....	114
90.	Calentamiento de agua por recuperación de calor en compresores.....	114
91.	Compresor de tornillo Kaeser utilizando un intercambiador de calor para calentar agua industrial.....	115
92.	Vista al quemador por mirilla de caldera.....	119
93.	Eficiencia de producción de caldera luego de ajustes realizados....	123
94.	Caldera típica de vapor.....	124
95.	Diagrama esquemático para flujo del aceite número 6.....	126
96.	Ensamble de la válvula de control del aceite, para aceite pesado.....	127
97.	Leva moduladora del aceite.....	130
98.	Leva moduladora del gas.....	133
99.	Procedimiento del ajuste de la leva moduladora.....	134
100.	Ajuste del electrodo, piloto de aceite.....	137
101.	Simbología de elementos de la red de vapor.....	139

102.	Plano de red de distribución de vapor cuarto de calderas .....	140
103.	Plano de red de distribución de vapor, planta 1, nivel 1 .....	141
104.	Plano de red de distribución de vapor, planta 1, nivel 3 .....	142
105.	Plano de red de distribución de vapor, planta 1, nivel 4 .....	143
106.	Plano de red de distribución de vapor, planta 1, nivel 5 .....	144
107.	Plano de red de distribución de vapor, planta 1, nivel 6 .....	145
108.	Plano red de distribución de vapor planta 2.....	146
109.	Plano de red de distribución de vapor, a tanques de aceite .....	147
110.	Plano de red de distribución de vapor a bodega de producto terminado a planta 3 .....	148
111.	Plano de red de distribución de vapor, planta 3, buhler 1 a).....	149
112.	Plano de red de distribución de vapor, planta 3, buhler 1 b).....	150
113.	Plano de red de distribución de vapor, planta 3, buhler 2 y 3 a).....	151
114.	Plano de red de distribución de vapor, planta 3, buhler 2 y 3 b).....	152
115.	Plano de red de distribución de vapor, planta 3, buhler 2 y 3 c).....	153
116.	Termografía válvula <i>check</i> .....	164
117.	Termografía trampa de balde invertido y termostática.....	165
118.	Estetoscopio SKF TMST3 .....	166

## TABLAS

I.	Flujo de vapor y consumo de bunker diario .....	49
II.	Flujo promedio de vapor y consumo de bunker .....	51
III.	Nivel y temperatura de tanque de condensados .....	59
IV.	Nivel y temperatura promedio de tanque de condensados.....	61
V.	Muestreo con analizador de combustión .....	61

VI.	Promedio del muestreo con analizador de combustión vs valores estándar .....	62
VII.	Pérdidas estimadas por radiación, convección y otras.....	65
VIII.	Interpolación simple a carga libras de condensado por hora por cada 100 pies de longitud .....	66
IX.	Propiedades del vapor y características del flujo .....	68
X.	Interpolación simple, entalpía de vapor saturado Btu/lbm.....	69
XI.	Agua saturada, tabla de presiones A-5E.....	70
XII.	Interpolación simple de la entalpía de líquido saturado Btu/lbm.....	71
XIII.	Promedio de consumo de agua fresca de alimentación .....	72
XIV.	Propiedades de agua saturada, tabla de temperaturas A-4E.....	76
XV.	Propiedades de agua saturada, tabla de presiones A4-5E .....	77
XVI.	Factores de presión para tubería .....	81
XVII.	Capacidad de tubería y factores de caída de presión .....	83
XVIII.	Capacidad de la línea de retorno en libra por hora con una caída de presión en psi para 100 pies de tubería a velocidad de 5 000 pies/min .....	84
XIX.	Áreas, tamaños y capacidades de tubería estándar .....	87
XX.	Pérdidas de calor en tuberías de acero desnudas y en superficies plana.....	88
XXI.	Costo por fugas de vapor vivo .....	93
XXII.	Costo fugas de vapor <i>flash</i> .....	97
XXIII.	Total de pérdidas estaciones de trampeo .....	107
XXIV.	Total pérdidas de vapor en estaciones de bombeo.....	108
XXV.	Pérdidas aproximadas de vapor .....	109
XXVI.	Desperdicio energético en red de distribución de vapor.....	110
XXVII.	Desperdicio energético en tubería sin aislamiento térmico .....	112
XXVIII.	Recuperación de calor (placa PTG).....	115
XXIX.	Cálculo de ahorro para recuperación de calor .....	116

XXX.	Cuadro comparativo beneficios al ejecutar propuestas .....	116
XXXI.	Costos de desperdicio energético y ejecución de propuestas ( <i>pay-back</i> ) .....	117
XXXII.	Variables de emisión de gases de combustión.....	120
XXXIII.	Codificación de los elementos de la red de planta 1 .....	155
XXXIV.	Actividades de mantenimiento preventivo elementos de la red de vapor .....	159
XXXV.	Actividades de mantenimiento preventivo en las trampas de vapor.....	159
XXXVI.	Actividades de mantenimiento preventivo en las estaciones de bombeo condensado.....	160
XXXVII.	Actividades de mantenimiento preventivo aislante térmico en la red de distribución de vapor .....	160
XXXVIII.	Rutina de mantenimiento en las estaciones de trampeo, planta 1 .....	161
XXXIX.	Rutina de mantenimiento en las estaciones de trampeo, planta 2 .....	162
XL.	Rutina de mantenimiento en las estaciones de trampeo, planta 3 .....	163
XLI.	Rutina de mantenimiento de las estaciones de trampeo en el cuarto de calderas.....	164
XLII.	Costo de mano de obra anual para ejecutar el programa de mantenimiento preventivo .....	168
XLIII.	Costo total anual por mantenimiento preventivo.....	169



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>BHP</b>	<i>Boiler Horse Power</i> , caballo de fuerza caldera, unidad de medida de potencia.
<b>Cp</b>	Calor específico
$\rho$	Densidad
<b>C<sub>2</sub></b>	<i>Diatomic carbon</i>
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>n</b>	Eficiencia
<b>h</b>	Entalpía
<b>gal</b>	Galón
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>°F</b>	Grados Fahrenheit
<b>Kpa</b>	Kilo pascales
<b>lb</b>	Libra
<b>m</b>	Metro
<b>CO</b>	Monóxido de carbono
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>%EA</b>	Porcentaje extra de aire
<b>RPM</b>	Revoluciones por minuto
<b>T- Air</b>	Temperatura de aire
<b>T-Stk</b>	Temperatura de chimenea
<b>Btu</b>	Unidad de energía térmica inglesa
<b>Psi</b>	Unidad de presión libras por pulgada cuadrada



## GLOSARIO

<b>Aislante térmico</b>	El aislamiento térmico tiene como función principal la conservación de energía mediante la utilización para este efecto de material aislante. Este material se utiliza para proveer resistencia al flujo de calor, reduciendo estas pérdidas en los elementos que integran el sistema de vapor, tales como calderas, tuberías, accesorios, tanques y marmitas.
<b>BTU</b>	<i>British thermal unit</i> es la cantidad de energía térmica necesaria para elevar de 63 a 64 grados Fahrenheit la temperatura de una libra de agua.
<b>Caldera pirotubular</b>	Son aquellas en las cuales los gases de combustión circulan en el interior de los tubos; con el agua siendo calentada y evaporada en las regiones externas de los tubos.
<b>Calor latente</b>	Es la energía necesaria para cambiar de fase una sustancia.
<b>Calor sensible</b>	Es la energía necesaria para elevar la temperatura del líquido o vapor sin que exista cambio de fase.
<b>Capacidad calorífica</b>	Representa la cantidad de energía requerida para elevar en un grado la temperatura de una sustancia

en energía que puede ser proporcionada mediante la transferencia de calor en ciertos procesos específicos. Las unidades de la capacidad calorífica son unidades de calor por unidad de masa y por unidad de temperatura, se expresa en Btu/lb°F. Esta unidad en el SI es J/Kg\*K(kJ/kg°C).

**Condensado**

El condensado se forma a partir de vapor utilizado; este es recuperado y retornado al sistema de condensado como fuente de alimentación de agua para calderas

**Conducción**

Es el calor transferido a través de un sólido, debido a un gradiente de temperatura, sin desplazamiento apreciable de partículas.

**Convección**

Es el calor transferido por mezcla de una parte de fluidos con otra.

**Densidad aislante**

Al aumentar la densidad disminuye la conductividad total debido en este caso a que, las cavidades o espacios son más pequeños y numerosos, disminuyendo la transferencia por conducción, convección y radiación.

**Derivaciones**

Las derivaciones transportarán el vapor más seco siempre que las conexiones tomen el vapor de la parte superior de la tubería principal. Si la toma es lateral, o peor aún, de la parte inferior, transportarán

el condensado, comportándose como un pozo de goteo. El resultado de esto es un vapor muy húmedo que llega a los equipos.

**Eficiencia de caldera** Cantidad de energía necesaria para convertir el agua de alimentación en vapor, en relación a la cantidad de energía correspondiente al combustible utilizado.

**Eliminadores de aire** Otro accesorio que se emplea ampliamente en las redes de vapor son los eliminadores de aire de la instalación. Un eliminador de aire automático es una válvula que trabaja termostáticamente y se instala en un lugar donde le llega el vapor y aire pero no el condensado. Se recomienda que los eliminadores de aire y su tubería de conexión estén sin aislamiento para que trabajen correctamente.

**Entalpía** Cantidad relacionada con el contenido de energía, las unidades de la entalpía son unidades de calor por unidad de masa, se expresa en Btu/lb (kJ/kg).

**Extracción condensado** Una vez eliminado el aire, el purgador debe eliminar el condensado pero no el vapor. Los escapes de vapor en este punto implican un proceso poco eficiente y no económico.

**Filtros** Hay que tener en cuenta que en toda tubería por la que circula un fluido, este arrastra consigo partículas de todo tipo: En el caso de tuberías nuevas, estas

partículas pueden proceder de fragmentos de arena de la fundición, del embalaje, virutas metálicas del mecanizado, trozos de varilla de soldar, tuercas y tornillos de montaje. En el caso de tuberías viejas tendremos óxido, y en zonas de aguas duras, depósitos de carbonatos. Todas estas partículas arrastradas por el vapor a elevadas velocidades, producen en los equipos abrasión y atascos que pueden dejarlos inutilizados de forma permanente.

### **Flujo de calor**

En un proceso en el cual no existen cambios en la energía cinética y energía potencial y no se efectúa trabajo por el fluido, o contra él, como es el caso considerado, el flujo de calor total viene expresado por la siguiente ecuación:  $Q=mC_p\Delta T$ . Se puede expresar en términos de entalpía:  $Q=m\Delta H$ .

### **Golpe de ariete**

El golpe de ariete se produce cuando el condensado en lugar de ser purgado en los puntos bajos del sistema, es arrastrado por el vapor a lo largo de la tubería, y se detiene bruscamente al impactar contra algún obstáculo del sistema.

### **Incrustación**

Depósito adherente sobre las superficies metálicas de calderas, se produce en el proceso de evaporación. Es mayor donde la temperatura de los gases es más elevada. La formación de incrustaciones es asociada con la dureza: calcio y magnesio; existen otras impurezas tales como el

hierro, bario, estroncio o sílice, de similar importancia.

**Pérdidas térmicas**

Las pérdidas térmicas en una red de tuberías de vapor son debidas al flujo calorífico que se produce por el hecho de que estas se encuentran a una temperatura superior a la temperatura del ambiente que las rodea.

**Presión**

La presión a la que el vapor debe distribuirse está básicamente determinada por el equipo de la planta que requiere una mayor presión.

**Purgadores**

Un purgador es un accesorio que permite evacuar los condensados formados en el circuito de vapor, fuera de este. Los condensados se sitúan en los puntos más bajos del circuito y por tanto en estos puntos es donde hay que proceder a su evacuación.

**Poder calorífico**

Un buen comienzo para establecer el escenario ideal de una planta eficiente, es determinar cuánta energía se está entregando al sistema. Para expresar esta cantidad, en términos de combustible, se utilizan los términos Poder Calorífico Bruto (PCB) y Poder Calorífico Neto (PCN).

**Poder calorífico bruto**

Es la cantidad total de calor que se produce en la combustión.

<b>Poder calorífico neto</b>	Es la cantidad de calor que se produce en la combustión, con exclusión del calor no recuperable, por lo que equivale al calor del proceso de combustión que se aprovecha en la práctica.
<b>Radiación</b>	Es la transmisión de calor en forma de energía radiante o en ondas de un cuerpo a otro a través de un espacio. Una de las propiedades más importantes en los materiales aislantes son la conductividad térmica y su estructura.
<b>Separadores de gotas</b>	Son accesorios de tubería que provocan, por su geometría, la deposición de las gotas que arrastra el vapor. Suelen tener una geometría laberíntica. Al final del recorrido y en su parte más baja, están dotados de una salida para el líquido separado del vapor. El vapor saliente de este tipo de trampa, lo hace libre de gotas de agua.
<b>Tablas de vapor</b>	En un vapor saturado, las propiedades que más interesan son: entalpía del líquido saturado, entalpía de evaporación, entalpía del vapor saturado, volumen específico del líquido y vapor saturado, entropía del líquido y vapor saturado, la temperatura y presión. Para cálculos referentes al vapor saturado y sobrecalentado son de mucha utilidad estas tablas.
<b>Trampas mecánicas</b>	Las trampas mecánicas detectan la diferencia de fase entre el vapor y el condensado, es decir, entre

gas y líquido, mediante la diferencia en densidad entre los dos.

**Trampas termodinámicas**

Las trampas termodinámicas son detectoras de fase; pueden diferenciar entre líquido y gas, pero no entre vapor, aire, y gases no condensables.

**Trampas termostáticas**

Este tipo de trampas responde a cambios de temperatura y de esta forma distingue bien entre vapor y gases no condensables más fríos. Elimina rápidamente el aire del sistema, especialmente durante un arranque en frío y puede ser instalada en varias posiciones.

**Transmisión de calor**

Cuando existen dos focos de calor a distintas temperaturas, se produce un flujo calorífico desde el foco más caliente hacia el más frío, hasta que se alcanza el equilibrio térmico, es decir la igualdad de temperaturas para ambos focos.

**Tratamiento químico**

Los valores a que los contaminantes deben ser reducidos, están determinados por la presión y temperatura de operación de los equipos. El programa de tratamiento químico externo para agua de alimentación a calderas apunta al control de seis clasificaciones de impurezas. Dureza, alcalinidad, sílice, gases: CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, Hierro, Cloruros.

**Tuberías**

Probablemente el estándar de tuberías más común sea el derivado del *American Petroleum Institute (API)*, donde las tuberías se clasifican según el espesor de pared de tubería, llamado *Schedule*. Estos *Schedules* están relacionados con la presión nominal de la tubería, y son un total de once, comenzando por 5 y seguido de 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 140, hasta el *Schedule* 160.

**Válvulas reguladoras**

Las válvulas de flujo dosifican el flujo del vapor de acuerdo a los requerimientos, algunas partes del proceso requieren menor temperatura; en este caso se instalan válvulas reguladoras de presión con el objeto de reducir la presión del vapor.

**Vapor de agua**

El vapor es agua en su fase de vapor. Para su generación es necesario suministrar energía para elevar el agua a su temperatura de ebullición y luego convertirla en vapor, o sea que en la producción del vapor de agua saturada, la absorción de energía térmica por cada libra de agua, se efectúa en dos etapas: adición de la energía del líquido, y de la energía de vaporización.

**Vapor húmedo**

Al llevar vapor de la caldera al punto de utilización se condensa a lo largo de las tuberías. Este enfriamiento, por pequeño que sea, al actuar sobre un vapor saturado, causa una condensación, la cual

se manifiesta corrientemente en forma de niebla, que es arrastrada por el vapor.

**Vapor *flash***

Esta sucede cuando agua o condensado caliente a presión se descarga a una presión menor; parte del agua o condensado a la baja presión se evapora, transformándose en lo que se llama vapor instantáneo.



## RESUMEN

Las industrias son los mayores consumidores de energía en la actualidad, para cada proceso necesitan hacer uso de más de alguna forma de energía, una de las que se utiliza es la energía a través de la generación de vapor, utilizando para tal fin combustibles en este caso bunker, el cual es quemado para transferir la energía contenida en él, a una cantidad de agua que la absorbe transformándola en vapor que transporta energía en forma de calor.

Los costos de combustibles a lo largo de la historia han ido en aumento, lo que hace que desperdiciar la energía contenida en el vapor sea un acto desde luego ineficiente, pues se está tirando dinero tanto del combustible quemado, como del agua tratada por mencionar algunos costos implicados.

La red de distribución de vapor al momento de la instalación de la caldera fue diseñada para el consumo de pocos equipos, con el tiempo se han agregado equipos a la red e instalado su drenado conectándolo a la línea de recuperación de condensado y en otros casos drenado, a alcantarillas, siguiendo prácticas de instalación muy generalizadas, que al final no se determinó si era la mejor de acuerdo con su uso.

En algunos equipos se ven chorros de condensado expulsado dirigiéndose a alcantarillas, vapor expulsado al ambiente por sobrepresiones, inadecuada eliminación de aire y gases no condensables que activan constantemente válvulas de alivio por sobrepresiones, reduciendo la transferencia de calor del vapor; también se observan tramos de tubería sin aislar. Lo que hace cuestionarse si la red de distribución y retorno de condensado es la mejor y

abre la oportunidad de presentar mejoras que permitan ahorros potenciales de energía y definitivamente ahorros en dinero.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Realizar un estudio de eficiencia energética en la red de distribución de vapor, para optimizar el proceso de recuperación de condensados.

### **Específicos**

1. Analizar el sistema de distribución de vapor y retorno de condensado, para definir la condición actual del sistema.
2. Evaluar el funcionamiento de la caldera y condensador, para determinar la eficiencia del proceso.
3. Determinar el porcentaje de pérdida energética en el sistema de distribución de vapor.
4. Evaluar el impacto ambiental que conlleva el eficientar la recuperación de condensados en la red de distribución de vapor.
5. Diseñar un programa de mantenimiento preventivo para los elementos que conforman la red de distribución de vapor que permita tener el sistema bajo control.



## INTRODUCCIÓN

La empresa se ha dedicado a la producción de alimentos para el consumo humano por más de 50 años, siendo parte fundamental en la lucha contra la desnutrición en el país. Actualmente cuenta con tres líneas de producción en las que se producen atoles, *snacks* y cereales. En el desarrollo de los procesos productivos se ve involucrada la utilización de vapor, como medio para la transferencia de calor en diferentes equipos.

Recientemente se colocó instrumentación en el tanque de condensado que permitiera obtener datos del nivel de condensado y agua fresca de alimentación, encontrando que aproximadamente el 50 % del agua en el tanque es condensado y el resto es agua fresca de alimentación; lo que refleja un aumento en el consumo de bunker, pues es necesario adherir más energía al agua para elevar su temperatura y convertirla en vapor.

La eficiencia de la red de distribución y retorno de condensado se ve afectada por un inadecuado dimensionado de las tuberías, accesorios, aislamiento térmico deficiente y en algunos casos ausencia del mismo, factores que provocan enfriamiento del vapor distribuido formando condensado, que disminuye la calidad del vapor distribuido, el condensado queda atrapado y si la red no cuenta con accesorios apropiados e instalados de forma correcta para su adecuada remoción, provoca daños a la red.

Para finalizar, la presencia de fugas de vapor vivo al igual que la pérdida de condensado de la red, provocan desperdicio de energía y hacen necesario utilizar más combustible y agua tratada para satisfacer la demanda de vapor

para la transferencia de calor y mantener la presión adecuada, así como la temperatura requerida, lo que incrementa los costos de generación de vapor.

Por lo que en la presente investigación se realizó un estudio para la optimización del proceso de recuperación de condensado de la red de distribución de vapor.

# **1. MARCO TEÓRICO**

## **1.1. Fundamentos del uso de vapor como fluido energético**

Desde hace muchísimos años, el vapor de agua ha sido el fluido térmico más ampliamente utilizado. La generalización de su empleo está basada en un conjunto de características singulares que le convierten en prácticamente insustituible. La razón fundamental es la necesidad que tiene la industria de emplear fuentes de calor a muy diversos niveles de temperatura.

El vapor empleado como fluido energético se caracteriza por ser capaz de transportar energía entre dos puntos en forma de entalpía. El vapor se produce a partir de agua, en un generador o caldera en el que aumenta su entalpía a costa habitualmente del calor de combustión y una vez en el punto de utilización pierde esta entalpía cediéndola.

Algunas industrias que se sustentan en procesos de calor son la química, de pulpa y papel, producción y refinación de petróleo, fabricación de acero, procesamiento de alimentos y textiles. El calor de proceso en estas industrias suele suministrarse por medio de vapor.

## **1.2. Distribución del vapor**

En el diseño de un sistema de distribución de vapor se deberán tomar en cuenta los siguientes factores: selección de la presión, diámetro de la tubería, inclinación adecuada y drenaje de la tubería, límite de expansión y pérdidas de calor.

Un sistema de distribución de vapor constantemente dará mayores problemas que cualquier otro servicio en tuberías, ya que aquel contiene vapor y agua. Desde que el vapor sale de la caldera una parte empieza a condensarse de acuerdo con la pérdida de calor a través de la tubería; esta cantidad de condensado será más pesada al inicio de la operación.

Un aumento considerable en los costos se debe generalmente a que se permiten pequeñas fugas; antes se pensaba en general que estas podían soslayarse y que su reparación no valía la pena, ni el tiempo, ni el costo.

El costo es un parámetro muy importante en un sistema de vapor, ya que este refleja la eficiencia en función de su utilización.

### **1.2.1. Elementos constitutivos de una red de distribución de vapor**

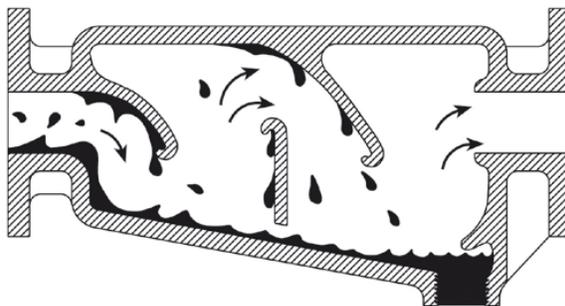
Una red de distribución de vapor, en principio está compuesta, al igual que cualquier red de distribución de un fluido, por tuberías y accesorios de tubería. Sin embargo, los cambios de fase en los que se basa el empleo de este tipo de redes, hacen necesario el empleo de determinados elementos en la red que son muy específicos de este tipo de sistemas.

- Tuberías: probablemente el estándar de tuberías más común sea el derivado del American Petroleum Institute (*API*), donde las tuberías se clasifican según el espesor de pared de tubería, llamado *schedule* (cédula). Estos *schedules* están relacionados con la presión nominal de la tubería, y son un total de once, comenzando por 5 y seguido de 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 140, hasta el *schedules* 160. Para tuberías de diámetro nominal 150 mm y menores, el *schedules* 40 (denominado a

veces '*standard weight*'), es el más ligero de los especificados. Solo los *schedules* 40 y 80 cubren la gama completa de medidas nominales desde 15 mm hasta 600 mm y son los utilizados más comúnmente para instalaciones de tuberías de vapor.

- Separadores de gotas: son accesorios de tubería que provocan, por su geometría, la deposición de las gotas que arrastra el vapor. Suelen tener una geometría laberíntica. Al final del recorrido y en su parte más baja, están dotados de una salida para el líquido separado del vapor. El vapor saliente de este tipo de trampa, lo hace libre de gotas de agua.

Figura 1. **Separador de gotas**

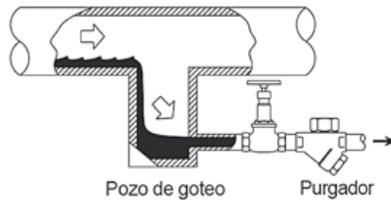


Fuente: Spirax Sarco. *Válvulas reductoras de presión en acero inoxidable*.  
<http://www.spiraxsarco.com/global/es/Products/Documents/IM/P186-02.pdf>.

Consulta: agosto 2015.

- Purgadores: la utilización de purgadores es el método más eficaz de drenar el condensado de un sistema de distribución de vapor. Los purgadores usados para drenar la línea deben ser adecuados para el sistema, y tener la capacidad suficiente para evacuar la cantidad de condensado que llegue a ellos, bajo las presiones diferenciales presentes en cada momento.

Figura 2. **Instalación de un purgador en un tramo recto de tubería**

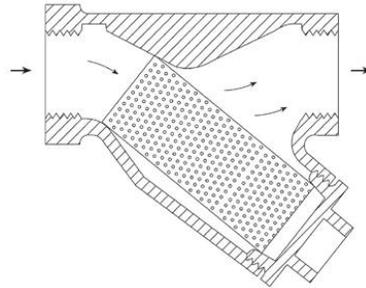


Fuente: Spirax Sarco. *Válvulas reductoras de presión en acero inoxidable*.  
<http://www.spiraxsarco.com/global/es/Products/Documents/IM/P186-02.pdf>.

Consulta: agosto de 2015.

- Eliminadores de aire: otro accesorio que se emplea ampliamente en las redes de vapor son los eliminadores de aire de la instalación. Un eliminador de aire automático es una válvula que trabaja termostáticamente y se instala en un lugar donde le llega el vapor y aire, pero no el condensado.
- Filtros: hay que tener en cuenta que en toda tubería por la que circula un fluido; este arrastra consigo partículas de todo tipo:
  - En el caso de tuberías nuevas, estas partículas pueden proceder de fragmentos de arena de la fundición, del embalaje, virutas metálicas del mecanizado, trozos de varilla de soldar, tuercas y tornillos de montaje.
  - En el caso de tuberías viejas se tendrá óxido, y en zonas de aguas duras, depósitos de carbonatos. Todas estas partículas arrastradas por el vapor a elevadas velocidades, producen abrasión y atascos en los equipos que pueden dejarlos inutilizados de forma permanente.

Figura 3. **Filtro en línea**



Fuente: Spirax Sarco. *Válvulas reductoras de presión en acero inoxidable*.  
<http://www.spiraxsarco.com/global/es/Products/Documents/IM/P186-02.pdf>.

Consulta: agosto de 2015.

La propia naturaleza y comportamiento del vapor hace que los elementos constitutivos de la red tengan que presentar unas características específicas en relación con el comportamiento frente a la temperatura y la presión que han de soportar. Además, deben presentar determinadas características frente a la abrasión debido, como se verá más adelante, a las altas velocidades que se manejan en este tipo de redes. Por otra parte, al manejar un fluido a muy elevada temperatura, toda la red debe estar provista del aislamiento térmico adecuado que evite fugas térmicas que son causa de ineficiencia de la instalación.

### **1.2.2. Aspectos que incrementan la eficiencia en sistemas de vapor**

Eficiencia en la generación de vapor, el proceso para calcular la eficiencia comienza con la determinación, lo más precisa posible, de la cantidad de energía que entra al proceso. Para esto, es necesario conocer cuánto

combustible se está quemando y su poder calorífico (PCB), es decir, cuántos joules, se suministran por cada kilogramo o metro cúbico de combustible.

La eficiencia de la caldera es el porcentaje de la energía contenida en el combustible alimentado (energía que entra a la caldera) que sale en el vapor producto producido (energía convertida en vapor o aprovechada).

La eficiencia de un sistema de vapor se puede mejorar si son atendidos cuidadosamente tres puntos: generación de vapor, distribución de vapor y consumo de vapor.

#### **1.2.2.1. Generación de vapor**

- Recuperación de condensado y aislamiento térmico de la línea de retorno.
- Precalentamiento del agua fresca de alimentación con calor residual.
- Tratamiento químico del agua de alimentación a la caldera.
- Reducción del exceso de aire.

#### **1.2.2.2. Distribución de vapor**

Para reducir las pérdidas de calor a través de la línea de distribución de vapor, es necesario:

- Diseñar la red de distribución, eligiendo los diámetros adecuados de tubería, determinando la localización y dimensiones apropiadas de los accesorios de tuberías y distribuyendo físicamente la red de acuerdo al criterio de longitud equivalente mínima.
- Aislar térmicamente las tuberías de vapor y los accesorios de tubería.
- Evitar fugas de vapor.

### **1.2.2.3. Consumo de vapor**

Especificación de dimensionamiento y ubicación adecuada de las trampas de vapor.

### **1.3. La recuperación de condensados en las redes de vapor**

En el caso específico del vapor, además del ahorro debido a una mejor eficiencia energética, por el hecho de retornar los condensados a caldera, se producen ahorros derivados de utilizar agua condensada y por tanto exenta de sales minerales, lo que evita los tratamientos químicos previos del agua de entrada en caldera. Esta es pues, una razón importante para proceder a la recuperación de condensados.

En el manejo del condensado, ya sea de regreso a la caldera, o al drenaje, el calor contenido en el condensado en sistemas de baja presión representa un 10 % del calor total usado para generar el vapor. En sistemas de alta presión puede ser mayor del 15 %.

El vapor que se condensa tiene dos calidades: primero, contiene calor en una cantidad que puede ser importante comparada con el calor total del vapor. Segundo, el condensado es agua limpia y ya tratada, sin sólidos disueltos, con excepción de los que arrastra en su flujo a través de la tubería.

#### **1.3.1. Sistema de recuperación de condensados**

Reusar el condensado caliente puede llevar a considerables ahorros de energía y agua, también a la mejora de las condiciones de trabajo y a reducir la huella de carbono de la planta.

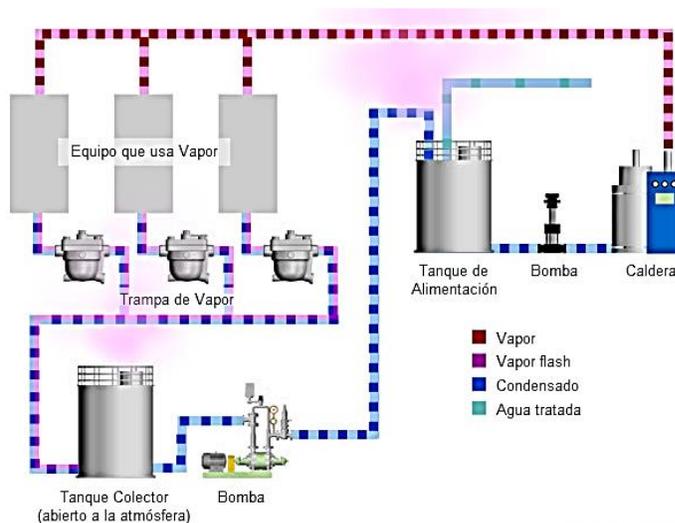
### 1.3.1.1. Tipos de sistemas de retorno de condensados

A continuación se explicarán los tipos de sistemas de retorno de condensados.

#### 1.3.1.1.1. Sistema abierto

El sistema abierto de retorno de condensado se llama así por estar abierto a la presión atmosférica. Debido al vapor instantáneo del condensado se observa normalmente un venteo o flujo de vapor del tanque. La intensidad de esta fuga de vapor depende de la cantidad de vapor y del calor que pierde este vapor en su trayectoria a través de la tubería de condensado.

Figura 4. Sistema de recuperación venteado a la atmósfera



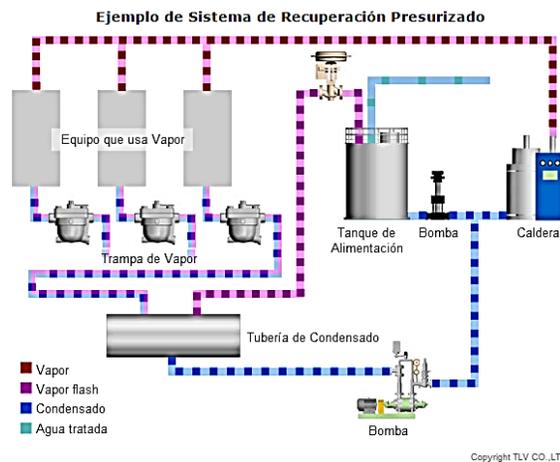
Fuente: TLV. *Recuperación de condensado: sistemas venteados vs. presurizados.*  
<http://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/vented-pressurized-condensate-recovery.html>.

Consulta: 10 septiembre de 2015.

### 1.3.1.1.2. Sistema cerrado

Para evitar las pérdidas de vapor instantáneo que se dan en sistemas abiertos se puede cerrar el sistema. El sistema cerrado se equilibra a una presión intermedia entre la presión del vapor y la presión atmosférica, dependiendo de la longitud de las líneas de condensado, la temperatura de condensado, entre otros. Siempre existe vaporización instantánea del condensado, pero este no se pierde, y sirve para mantener la presión en el sistema.

Figura 5. Sistema de recuperación presurizado



Fuente: TLV. *Recuperación de condensado: sistemas venteados vs. presurizados.*

<http://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/vented-pressurized-condensate-recovery.html>.

Consulta: 10 septiembre de 2015.

### 1.3.1.1.3. Sistemas de recuperación venteados vs. presurizados

En un sistema venteado de recuperación de condensados se usa la presión a la entrada de la trampa de vapor o una bomba para llevar el

condensado a un tanque colector abierto a la atmósfera, donde puede utilizarse como agua de alimentación a la caldera, pre-calentamiento u otras aplicaciones de agua caliente.

En un sistema presurizado de recuperación de condensado, este se mantiene a una presión mayor a la atmosférica durante todo el proceso de recuperación. Generalmente, el condensado presurizado sirve como agua de alimentación a la caldera. Como tanto el vapor *flash* como el vapor vivo en el retorno vienen presurizados, pueden ser reusados en aplicaciones como calderas de recuperación (que requieran un intercambiador) y sistemas en cascada.

### **1.3.2. Retorno de condensado y cuando usar bombas de condensado**

El manejo y la recuperación del condensado para su reutilización siempre requiere de una presión diferencial positiva entre el origen y el destino (que típicamente es un tanque colector o el cabezal de retorno). En algunos casos, la presión de vapor a la entrada de la trampa es suficiente para vencer la contrapresión del sistema, pero en muchas instalaciones la presión diferencial es negativa y requiere de una bomba para llevar el condensado hasta otra área.

Es posible que la trampa de vapor descargue hacia una tubería elevada, siempre que la presión diferencial sea positiva y los estándares de seguridad se cumplan. Cuando las distancias vertical y horizontal aumentan, también lo hace la contrapresión del sistema. Una vez que la presión diferencial sea negativa, no será viable la opción de usar la presión a la entrada de la trampa y se requerirá de una bomba o una trampa/bomba, como se detalla a continuación.

### **1.3.2.1. Usar una bomba para vencer la contrapresión**

Un sistema de bombeo se requiere para mover el condensado cada vez que la contrapresión es mayor que la menor presión posible en la entrada de la trampa. La contrapresión del sistema se puede calcular sumando 3 componentes en el lado de la descarga:

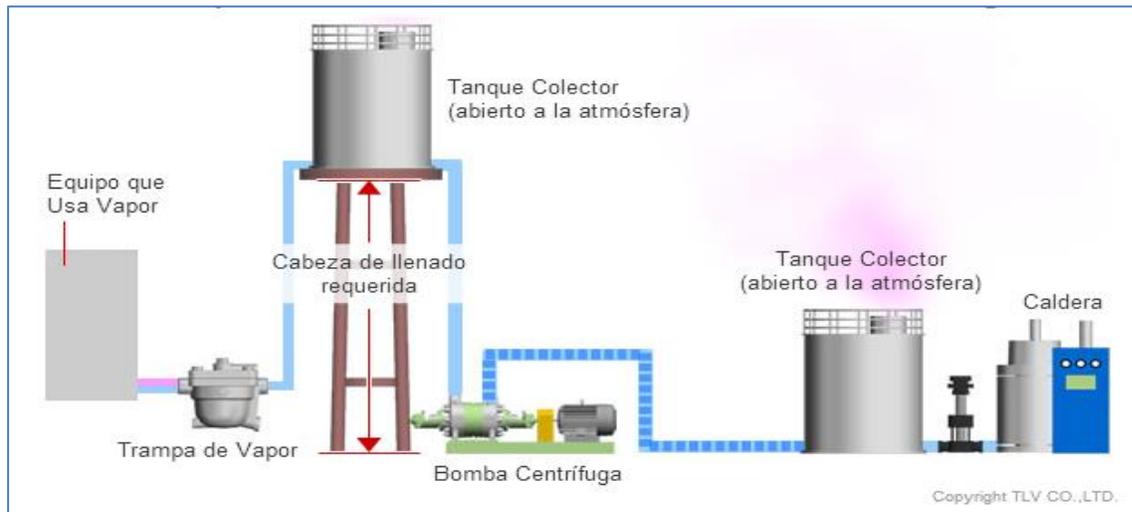
- La elevación en la descarga de la trampa, bomba o trampa/bomba
- La caída de presión por fricción en tubería
- Toda presión estática asociada con el tanque de recuperación

### **1.3.2.2. Bombas de condensado tipo centrífugas o turbina con motor eléctrico**

Cuando hay presión diferencial negativa entre el origen y el destino, una bomba centrífuga o turbina común pueden usarse para aumentar la presión del condensado. Con el bombeo se puede mover más condensado y a más largas distancias. El condensado se colecta primero en un tanque, y luego una bomba eléctrica lo lleva a donde será reutilizado.

Sin embargo, problemas potenciales adicionales a los del diseño, como falta de conexión eléctrica cercana, normas eléctricas caras/estrictas, sobreamperaje/capacidad insuficiente, las bombas centrífugas y turbinas pueden enfrentar el serio problema de la cavitación. La cavitación es causada por los espacios de vapor formados a causa de la rotación de los álabes en la masa de condensado. Es más típica en motores de altas RPM y puede ocurrir cuando la temperatura del líquido es mayor a 80 °C.

Figura 6. **Recuperación de condensado usando bomba centrífuga**



Fuente: TLV. *Recuperación de condensado: sistemas venteados vs. presurizados.*  
<http://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/vented-pressurized-condensate-recovery.html>.

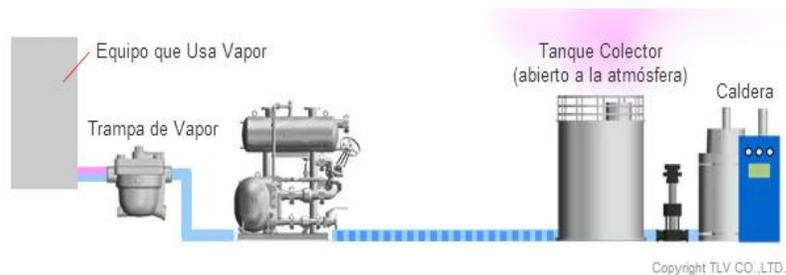
Consulta: 10 septiembre de 2015.

### 1.3.2.3. **Bombas mecánicas impulsadas por vapor o aire**

Las bombas de condensado mecánicas, también conocidas como purgadores de presión secundaria (SPD), fueron inventadas para vencer las dificultades que pueden ocurrir a las bombas eléctricas, y que se mencionaron antes. Con las bombas mecánicas aquellos problemas citados arriba, como la cavitación, son eliminados o reducidos, significativamente.

Las bombas de condensado mecánicas usan el desplazamiento positivo como medio de bombeo y no usan la rotación de unos álabes, por lo cual no hay peligro de cavitación.

Figura 7. **Recuperación de condensado usando una bomba mecánica**



Fuente: TLV. *Recuperación de condensado: sistemas venteados vs. presurizados.*  
<http://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/vented-pressurized-condensate-recovery.html>.

Consulta: 10 septiembre de 2015.

### **1.3.3. Tubería de recuperación de condensado**

El condensado que descargan las trampas de vapor se maneja de dos formas. Se va al drenaje justo después de salir por la trampa, lo que representa la pérdida de la energía contenida en el agua; o bien es transportado por tubería hacia otro lugar, idealmente al sistema de recuperación.

#### **1.3.3.1. Tubería para flujo de dos fases**

La tubería para el condensado se conoce típicamente como recuperación de condensado o tubería de retorno de condensados. El diseño de dicha tubería requiere de cálculos especializados, porque debe diseñarse para flujo de dos fases. El diseño no debe basarse en cálculos de tubería para agua porque esta no será apta para flujo de dos fases. El flujo de dos fases se refiere a que el vapor (ya sea de flasheo, vapor de caldera o una mezcla de ambos) fluye por la tubería junto con el condensado líquido. Aunque fluyan juntos, esto no significa que circulen en dos fases bien separadas.

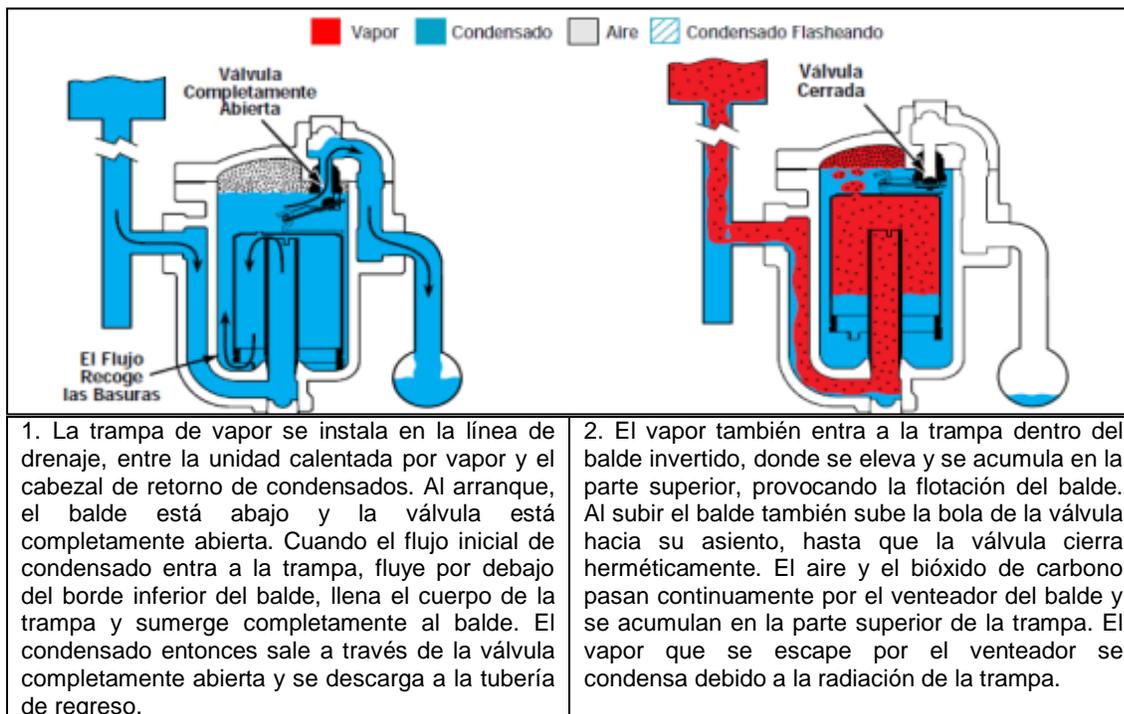
### 1.3.3.2. Funcionamiento

A continuación se explicará el funcionamiento de las máquinas.

#### 1.3.3.2.1. Trampa de vapor de balde invertido

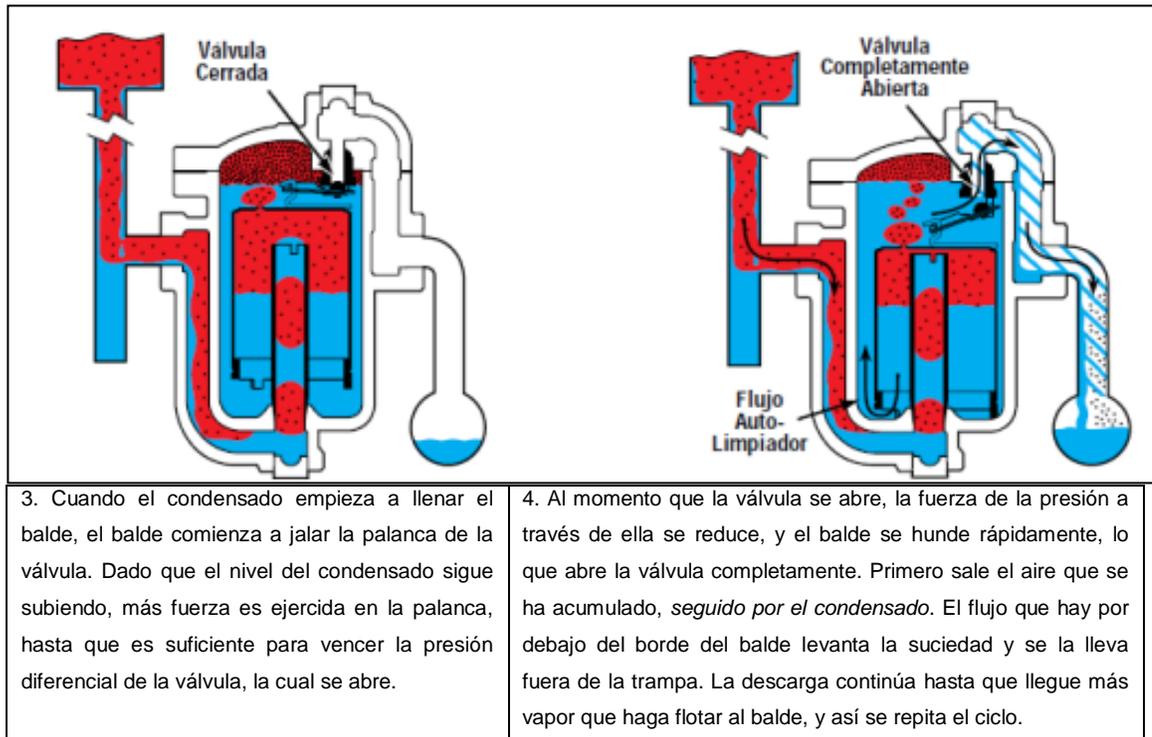
A continuación se explicará el funcionamiento de la trampa de vapor de balde invertido.

Figura 8. **Funcionamiento trampa de vapor de balde invertido, acumulación de condensado**



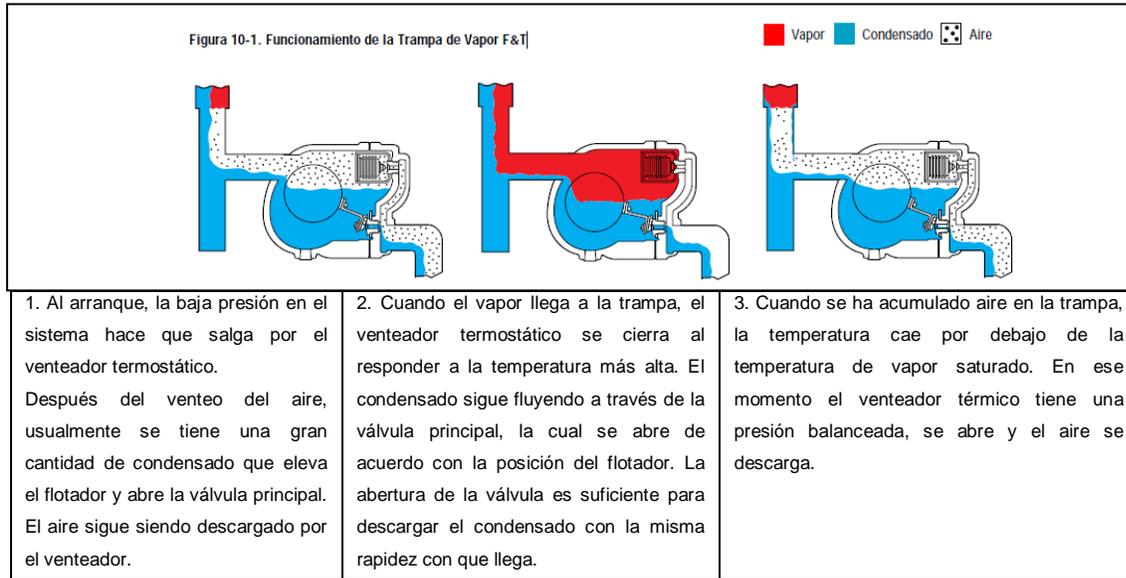
Fuente: Armstrong International. *Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensado*. p. 20.

Figura 9. **Funcionamiento trampa de vapor de balde invertido, descarga de condensado**



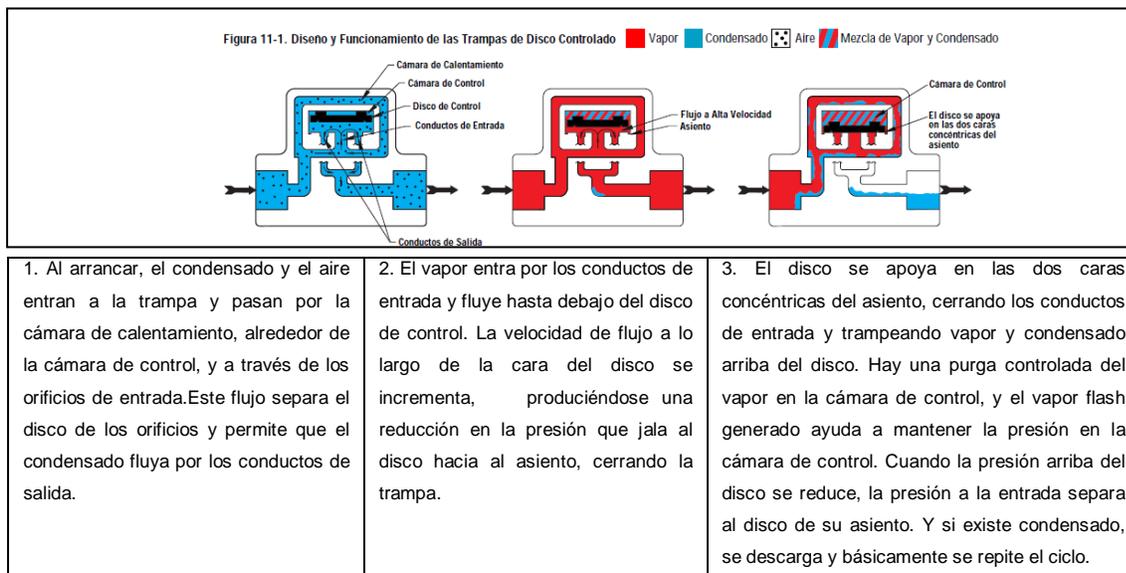
Fuente: Armstrong International. *Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensado*. p. 15.

Figura 10. **Funcionamiento trampa de vapor de flotador y termostática**



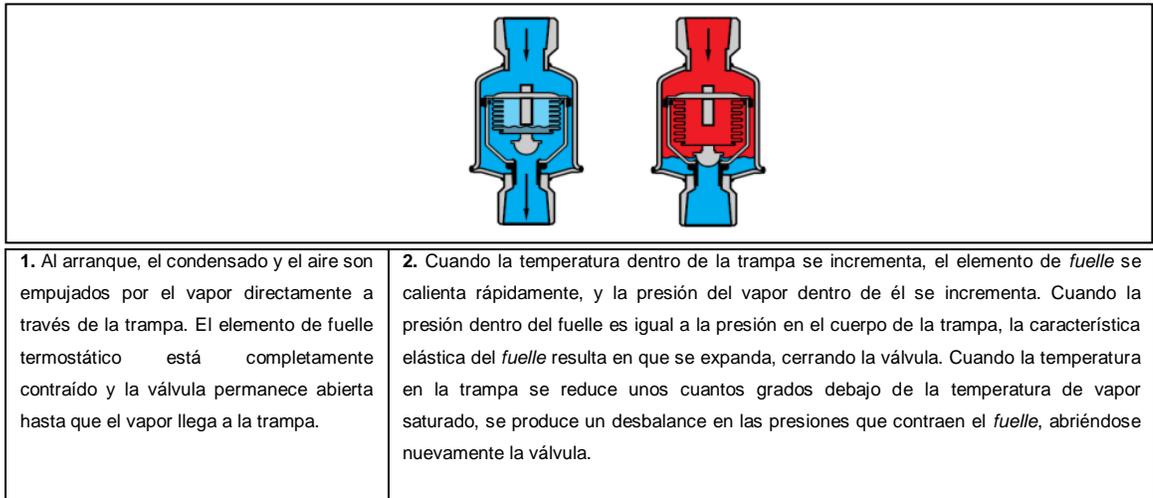
Fuente: Armstrong International. *Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensado.* p. 20.

Figura 11. **Diseño y funcionamiento de las trampas de disco controlado**



Fuente: Armstrong International. *Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensado.* p. 26.

Figura 12. **Funcionamiento de la trampa de vapor termostática**



Fuente: Armstrong International. *Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensado*. p. 30.

### 1.3.3.3. **Métodos de prueba de trampas**

En operación normal hay dos tipos de pérdidas de vapor en la trampa: pérdida de vapor vivo a través del orificio, y pérdida indirecta de vapor debido a la transmisión de calor de la trampa y de la línea que alimenta la trampa. Igual que la selección y el cálculo de las pérdidas, el poder comprobar que una trampa esté o no funcionando bien es una combinación de arte y ciencia. Existen tres métodos comúnmente usados para comprobar la operación de trampas: temperatura, sonido y la inspección visual, en orden de utilidad.

### 1.3.3.4. **Administración y mantenimiento de trampas**

Con estos antecedentes vale la pena que en la mayoría de plantas exista un programa de administración y mantenimiento de trampas. Las trampas de

vapor son válvulas automáticas diseñadas para descargar el condensado (y ventear aire) sin fugar vapor. Como todos los equipos mecánicos están sujetas a desgaste y eventualmente requerirán de mantenimiento para volver a las condiciones originales y para prevenir:

- Fugas de vapor
- Que se bloquee la descarga de condensado (por ejemplo: trampas frías)

Se usan varios métodos para inspeccionar las condiciones de operación de una trampa de vapor y determinar si ella está trabajando apropiadamente, incluyéndose el análisis visual, medición de temperatura y medición de sonido/ultrasonido y la combinación de estos métodos. Las pruebas para asegurar un funcionamiento adecuado y eficiente, usando uno o más de los métodos descritos en la sección anterior tienen que hacerse a intervalos regulares.

- De 0-30 psig (0-0,21 kPa) inspección anual
- De 30-100 psig (0,21 kPa-0,69kPa) inspección semianual
- De 100-250 psig (0,69 kPa-1,72kPa) inspección trimestral o mensual
- Más de 250 psig (1,72 kPa) inspección mensual o semanal

Un programa organizado de inspecciones y pruebas necesita también un inventario en la planta. Una lista central de trampas se mantiene en el departamento de mantenimiento, con sus fechas y resultados. En la planta, cada trampa se debe identificar con un código o número para que se pueda reconocer fácilmente, tanto para inspección como para su reemplazo.

## **2. ANÁLISIS DE LA RED DE VAPOR**

### **2.1. La distribución y uso del vapor**

La instalación de vapor básicamente está formada por tres elementos indispensables: el equipo que se encarga de la generación de vapor (caldera), el que utiliza el vapor (consumo) y entre ellos existe una red de tuberías que se encargan de la distribución del vapor y el retorno de condensados.

La red de distribución de vapor está conformada principalmente por tuberías y accesorios como cualquier otra red de distribución de fluidos que lo conduce al equipo de utilización, pero debido a las condiciones particulares que presenta una red de distribución de vapor como variaciones de presión y temperatura, se necesitan componentes con determinadas características para soportar las condiciones a las que está expuesto el sistema.

#### **2.1.1. Línea principal**

La red de distribución de vapor da inicio a la salida de la caldera, el vapor producido es conducido al cabezal de distribución principal; de este se deriva cada una de las líneas de distribución de vapor que satisfacen la demanda en las plantas de producción, como se observa en la figura 13.

Figura 13. **Cabezal de distribución principal**



Fuente: Empresa de Alimentos.

El diámetro de la tubería a la salida de la caldera es de 6 pulgadas, este diámetro se mantiene hasta llegar al cabezal de distribución principal; las salidas del cabezal principal continúan siendo de 6 pulgadas de diámetro antes de salir del cuarto de calderas y reducirse a un diámetro de 4 pulgadas que permanece en la línea de distribución principal en cada una de las plantas de producción.

#### **2.1.1.1. Tubería y accesorios**

La tubería de distribución principal en cada planta tiene un diámetro de 4 pulgadas, es tubería negra, cédula 40. Las uniones entre tuberías se dan a través de *flanges* soldados a la tubería (ver figura 14). Los accesorios encontrados en esta línea son únicamente válvulas de globo del mismo diámetro que la tubería, cuyo objetivo es controlar el paso del vapor de acuerdo con su utilización, es decir, cerrar o abrir el paso general del vapor.

Figura 14. **Uniones en tuberías de distribución principal**



Fuente: Empresa de Alimentos.

Además existen algunos elementos de instrumentación como manómetros ubicados a la salida de la caldera y en las terminaciones de las líneas de distribución de vapor, cuyo fin es indicar la presión de vapor y de acuerdo con esta, controlar la generación en el cuarto de calderas. Los manómetros son del tipo *bourdon*. También se cuenta con medidores de flujo, de tal forma que se puede determinar la cantidad de flujo que se está produciendo en el punto de generación, están ubicados entre la tubería de salida de la caldera y el cabezal de distribución principal, ver figura 15.

Figura 15. **Medidor de flujo a la salida de caldera**



Fuente: Empresa de Alimentos.

### **2.1.1.2. Aislamiento térmico**

La red de distribución de vapor principal está aislada en su mayoría, el material aislante utilizado es lana mineral, con un espesor de 1 ½ pulgada; el mismo está recubierto con lámina galvanizada chapa 1/32 de pulgada, es importante mencionar que la tubería no está pintada, ver figura 16.

Figura 16. **Aislamiento de la red de distribución de vapor**



Fuente: Empresa de Alimentos.

### **2.1.2. Derivaciones a equipos**

El vapor de la red de distribución principal es conducido a los equipos a través de ramales de distribución, que se adecuan a las necesidades de cada uno de los equipos.

#### **2.1.2.1. Tipo de derivación**

Las derivaciones que toman el vapor de la línea principal y lo conducen a los equipos en su mayoría son de toma lateral y en algunos puntos lo toman de la parte inferior de la tubería.

### 2.1.2.2. Tubería y accesorios

De acuerdo con el orden con el que la tubería de distribución principal de vapor, encuentra en su recorrido a los equipos se detallan a continuación:

#### Planta 1

- Secadoras: la tubería que se encarga de conducir el vapor hacia las secadoras es tubería negra de diámetro de 2 pulgadas, cédula 40. La tubería en su inicio tiene válvulas de globo para abrir y cerrar el paso general del vapor de forma inmediata, luego de esto la tubería se subdivide; cada división cuenta con un filtro en Y que se encarga de retener toda incrustación y suciedad que se conduce con el vapor a la vez que protege de daños a los elementos reguladores y trampas de vapor. Le sigue una válvula de globo con accionador de diafragma neumático; este accionador regula el paso del vapor de forma automática haciendo referencia a un punto de control. Por último se dispone de un manómetro *bourden* justo antes de entrar a la secadora, indicando la presión (para mayor detalle ver figura 17).

Figura 17. Tubería y accesorios de secadora, planta 1



Fuente: Empresa de Alimentos.

- Acondicionador: al llegar al acondicionador se tiene un ramal, tubería negra, cédula 40, de  $\frac{3}{4}$  de pulgada de diámetro; el ramal inicia con una válvula de globo que cierra o abre el paso del vapor accionada de forma manual, seguida de un filtro en "Y", y una reguladora de presión de acción directa, cuyo propósito es reducir la presión al nivel que se necesita en el acondicionador, debido a la acción que realiza la reguladora de presión se encuentra un manómetro justo después del regulador, que muestra la presión regulada, para mayor detalle, (ver figura 18).

Figura 18. **Tubería y accesorios de acondicionador, planta 1**



Fuente: Empresa de Alimentos.

- Unidades de extrusión: a las unidades de extrusión llega vapor a través de tubería negra de 3 pulgadas de diámetro, cédula 40, (vea figura 19). Al inicio de cada ramal se dispone de una válvula de globo para el control del paso general del vapor, luego se tiene una reguladora de presión de acción directa, para finalizar con un manómetro del tipo *bourden* antes de ingresar a la unidad extrusora.

Figura 19. **Tubería y accesorios de unidades de extrusión, planta 1**



F Fuente: Empresa de Alimentos.

### Planta 3

- **Secadora:** a la secadora se conduce vapor a través de dos ramales de distribución, uno para cada intercambiador de calor en la secadora, es conducido por tubería negra de diámetro 2 pulgadas, cédula 40; cada ramal inicia con un separador de gotas, que se encarga de pasar al equipo vapor seco, es decir elimina la humedad que se ha formado en el recorrido del vapor; el separador de gotas es una unidad que contiene un laberinto interno por el que pasa el vapor húmedo haciendo que las gotas de humedad, se depositen en el fondo de la unidad separadora, dejando pasar por la parte superior únicamente vapor seco. Al separador de gotas le sigue una válvula de globo que controla el paso general del vapor en el ramal de distribución, luego se tiene la unidad de filtración, un filtro en "Y" se encarga de eliminar las impurezas conducidas por el vapor, para luego pasarlo a la unidad de regulación formada por un manómetro *bourden* a la entrada de la reguladora de presión, y otro manómetro del mismo tipo a la salida, de esta manera se conoce la presión al inicio la

que se desea regular y se puede visualizar el valor de la presión regulada a la salida. El vapor regulado se conduce al intercambiador de calor por dos ramales, antes de entrar al intercambiador se tiene una válvula de globo en cada ramal, (ver figura 20).

Figura 20. **Tubería y accesorios de secadora, planta 3**



Fuente: Empresa de Alimentos.

- Ollas cocción miel: se encargan de calentar miel a través de un encamisado es decir el vapor no tiene contacto directo con el producto; a las ollas llega vapor por una tubería negra de diámetro 1 pulgada, cédula 40; el ramal da inicio con una válvula de bola, que abre o cierra el paso general del vapor, luego se tiene la unidad de filtración en "Y" antes de la válvula reguladora de campana, a la salida de la reguladora se tiene un manómetro del tipo *bourden* que permite conocer el valor de la presión regulada, (ver figura 21). El vapor a la presión regulada se conduce a las dos ollas por tuberías de derivación, justo antes de ingresar a cada olla se tiene una válvula de compuerta con accionador neumático que abre o cierra el paso del vapor de acuerdo con el valor con el indicado en un punto de control de temperatura. Debido al sistema de intercambio de calor a través del encamisado, se pueden presentar sobrepresiones por

acumulación de vapor o condensado; para esto se cuenta con válvulas de alivio, que se accionan de forma automática al sobrepasar una presión establecida.

Figura 21. **Tubería y accesorios de ollas de cocción de miel**



Fuente: Empresa de Alimentos.

- **Extrusor:** a la unidad de extrusión se conduce vapor por una tubería negra de diámetro  $\frac{3}{4}$  de pulgada, cédula 40, el ramal da inicio con una válvula de globo, que permite controlar el paso general del vapor, seguida por una unidad de filtración en "Y", luego se tiene un manómetro que indica la presión de vapor en el ramal de distribución, luego este ramal se subdivide en tres ramales; cada uno de ellos se encarga de regular la presión del vapor al valor requerido, cada una está compuesta de igual forma por una válvula de globo al inicio, seguida por una válvula de compuerta con accionador neumático que abre o cierra el paso del vapor al instante, luego se tiene la reguladora de presión en forma de campana, a la salida de la reguladora se tiene un manómetro que indica

la presión regulada, luego una unidad de filtración en  $v$ , debido a que le sigue un termómetro que debe ser protegido de la suciedad por su sensibilidad. Al final el vapor ingresa a la unidad de extrusión, (ver figura 22).

Figura 22. **Tubería y accesorios de extrusores, planta 3**



Fuente: Empresa de Alimentos.

A la cabeza del extrusor se conduce vapor por tubería negra de  $\frac{3}{4}$  cédula 40; el ramal está compuesto en su inicio por una válvula de globo, seguida de una unidad de filtración antes de ingresar al separador de gotas, luego se tiene un manómetro que permite conocer el valor de la presión antes de ser regulada, luego se tiene una válvula de compuerta con accionador neumático que abre o cierra el paso del vapor al instante; a continuación se encuentra la reguladora; de presión de campana, a la salida de esta se cuenta con un manómetro que indica el valor de la presión regulada; justo antes de ingresar a la cabeza de la unidad extrusora se tiene una válvula de compuerta con accionador neumático de diafragma, (ver figura 23).

Figura 23. **Tubería y accesorios de cabeza de unidad extrusora, planta 3**



Fuente: Empresa de Alimentos.

- Tanques de cocción: el vapor es conducido a los tanques por tubería negra de 1 pulgada de diámetro, cédula 40; el ramal a cada tanque inicia con una válvula de globo accionada manualmente, seguida por la unidad de filtrado en "Y"; luego se tiene la reguladora de presión y a su salida un manómetro que indica el valor de la presión regulada, el vapor regulado se conduce por una derivación hacia cada tanque, justo antes de ingresar el vapor al tanque se cuenta con una válvula de alivio que se activa de forma automática, al existir sobrepresión en el sistema de intercambio de calor del tanque de cocción, (ver figura 24).

Figura 24. **Tubería y accesorios de tanques de cocción, planta 3**



Fuente: Empresa de Alimentos.

- Calentador de aire: para el proceso productivo se necesita aire caliente; el aire es calentado a través de la unidad de intercambio de calor, (ver figura 25). El vapor se extrae de la línea de distribución principal por un ramal de tubería negra de  $\frac{3}{4}$  de pulgada de diámetro, cédula 40; el ramal inicia con una válvula de bola accionada manualmente, seguida por la unidad de filtrado, que elimina la suciedad que puede causar daños a los elementos del sistema que le siguen; una válvula de bola con accionador neumático abre o cierra el paso del vapor de manera inmediata, le sigue la reguladora de presión de campana y a su salida el correspondiente manómetro que indica el valor de la presión regulada.

Figura 25. **Tubería y accesorios de calentador de aire**



Fuente: Empresa de Alimentos.

- Acondicionador: el acondicionador es alimentado por un ramal de distribución de diámetro  $\frac{3}{4}$  de pulgada, tubería negra, cédula 40; el ramal inicia con una válvula de globo de accionamiento manual, seguida por un filtro en Y para protección de los elementos que siguen, un separador de gotas se encarga de eliminar la humedad contenida en el vapor y pasar únicamente vapor seco a través de su unidad laberíntica, le sigue un

manómetro que indica la presión antes de pasar por la reguladora de presión de campana; luego se tiene una válvula de compuerta que abre o cierra completamente de acuerdo con la señal de aire recibida en su accionador neumático; la presión a la salida de la reguladora es indicada por otro manómetro, al final una válvula de globo con accionador de diafragma se encarga de abrir o cerrar el paso del vapor de acuerdo con la variación de un parámetro, (ver figura 26).

Figura 26. **Tubería y accesorios de acondicionador**



Fuente: Empresa de Alimentos.

### **2.1.2.3. Aislamiento térmico**

Las tuberías de derivación están recubiertas con lana mineral, (vea figura 27), con un espesor de 1 ½ pulgada; se encuentra encerrada entre la pared de la tubería y un recubrimiento de lámina galvanizada, sin pintar.

Figura 27. **Aislamiento térmico de tubería de derivación**



Fuente: Empresa de Alimentos.

## **2.2. Retorno de condensados**

El vapor a través de la red de distribución, debido al intercambio de calor con el exterior en su recorrido produce condensado que ocupa la parte baja de la tubería; es eliminado de la red de distribución y dirigido a la red de retorno del condensado; existen partes en las que el condensado no se extrae de la red de distribución de vapor; produciendo golpes de ariete, ruido y abrasión en la distribución.

Por otra parte, luego de que el vapor realiza su transferencia de calor en los equipos se condensa, el condensado es conducido a la red de retorno de condensados en su mayoría para depositarlo en un tanque recolector de condensado.

### **2.2.1. Línea principal**

La red de distribución de vapor en su recorrido cuenta con sistemas que permiten extraer el condensado y lo conducen a la red de retorno de

condensados, los sistemas están formados básicamente por una válvula de bola, una unidad de filtración tipo Y, una trampa de vapor cuyo objetivo es dejar pasar el condensado, aire y gases, sin dejar pasar vapor de la red de distribución.

#### **2.2.1.1. Tubería y accesorios**

La tubería principal de retorno de condensados sigue paralelamente a la red de distribución de vapor, el flujo de condensado se conduce en sentido opuesto al del vapor, llevándolo al tanque de recuperación de condensados que se localiza en el cuarto de calderas. La tubería es de 2 pulgadas de diámetro, cédula 40, de hierro negro, pintada de color rojo, ver figura 28. En cuanto a los accesorios que la integran solo se tienen válvulas de globo y bola que permiten regular el flujo de condensado, abrir o cerrar de acuerdo con las necesidades.

Figura 28. **Línea principal de retorno de condensado**



Fuente: Empresa de Alimentos.

### **2.2.1.2. Aislamiento térmico**

La línea principal de retorno de condensados no está aislada térmicamente en su mayoría, es decir no está recubierta con algún material aislante que pueda conservar la temperatura del flujo de condensado que se dirige al tanque de recuperación.

### **2.2.1.3. Estaciones de trampeo**

La red de distribución de vapor cuenta con estaciones de trampeo que se encargan de extraer el condensado acumulado en su recorrido, desde la salida de la caldera en el cabezal de distribución principal hasta el último equipo que utiliza vapor.

En el cabezal de distribución principal se localizan dos estaciones de trampeo, una en cada esquina del cabezal, (ver figura 29). Inician con un tubo colector (pierna colectora), del diámetro de la tubería del cabezal 6 pulgadas; estas sirven como depósitos de acumulación del condensado que se genera, luego una tubería negra de 1 pulgada de diámetro conduce el condensado a la línea de retorno principal, compuesta por una válvula de bola, una unidad de filtrado tipo "Y", una trampa de balde invertido, seguida de una válvula de retención, que evita que el condensado retirado regrese al sistema.

Figura 29. **Estación de trampeo cabezal de distribución principal**



Fuente: Empresa de Alimentos.

Las estaciones de trampeo que se pueden encontrar en el recorrido de la red de distribución principal de vapor; están compuestas por una pierna colectora o depósito colector; este acumula el condensado formado en la tubería, luego el condensado se conduce por una tubería negra de  $\frac{3}{4}$  de pulgada hacia la tubería principal de retorno; en este tramo de la tubería se cuenta con una válvula de globo o bola que permite abrir o cerrar el paso del condensado; le sigue una unidad de filtración tipo “Y”, esta se encarga de extraer toda partícula extraña o suciedad que pueda dañar a la trampa de vapor que le sigue; en su mayoría son trampas termodinámicas de vapor de disco, que deberían de dejar pasar únicamente condensado a la red principal de retorno de condensados; por último una válvula de globo o bola con la que se puede abrir o cerrar el paso del condensado, (ver figura 30).

Figura 30. **Estación de trampeo de red de distribución de vapor**



Fuente: Empresa de Alimentos.

## **2.2.2. Equipos**

En la mayoría de los equipos que utilizan vapor para la transferencia de calor, a su entrada cuentan con estaciones de trampeo que si funcionan correctamente entregan vapor seco al equipo; asimismo a la salida de los equipos se tienen estaciones de trampeo que de funcionar correctamente entregan únicamente condensado a la red de recuperación de condensados, sin dejar pasar vapor vivo.

### **2.2.2.1. Tubería y accesorios**

La tubería que transporta el condensado recuperado para la entrega de vapor seco a los equipos, así como del condensado recuperado luego de la transferencia de calor en los equipos varía en diámetro para cada equipo pero por lo general se tiene tubería de  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$ , y 1 pulgada, cédula 40 de hierro negro. Los accesorios se detallan en la sección de estaciones de trampeo.

### 2.2.2.2. Aislamiento térmico

La tubería de recuperación de condensados en los equipos está aislada con lana mineral y espuma de uretano, con espesor de 1 ½ pulgada, recubierta a la vez de lámina galvanizada, (ver figura 31).

Figura 31. **Aislamiento térmico de tubería de recuperación de condensado**



Fuente: Empresa de Alimentos.

### 2.2.2.3. Estaciones de trampeo

De acuerdo con el orden con el que la tubería de distribución principal de vapor encuentra en su recorrido a los equipos hace entrega del vapor y recupera el condensado a través de la red de retorno de condensados, se detallan a continuación las estaciones de trampeo:

Planta 1

- Secadoras: antes de entregar el vapor a cada secadora se extrae el condensado que acarrea, para que el vapor sea lo más seco posible, un

filtro en “Y” retira la suciedad y partículas extrañas, que podrían dañar a la trampa termostática que le sigue, la tubería es de  $\frac{3}{4}$  de pulgada de diámetro, (ver figura 32). A la salida del equipo una trampa de balde invertido elimina el condensado, seguida de una válvula de retención que evita su retorno a la trampa. Cada secadora cuenta con 3 estaciones de trampeo anteriormente descritas.

Figura 32. **Estación de trampeo de secadoras, planta 1**



Fuente: Empresa de Alimentos.

- Acondicionador: el condensado se extrae únicamente luego de que el vapor ha realizado su transferencia de calor, es decir a la salida del equipo, se tiene una trampa de balde invertido seguida de una válvula de retención. Ver figura 33.

Figura 33. **Estación de trampeo de acondicionador, planta 1**



Fuente: Empresa de Alimentos.

- Unidades de extrusión: al vapor antes de ingresar a la unidad extrusora se le extrae el condensado para que sea lo más seco posible, la estación de trampeo la conforman una válvula de globo, seguida de la unidad de filtrado tipo Y que protege a la trampa termodinámica de disco que le sigue. Ver figura 34. Son seis unidades de trampeo como la descrita anteriormente, una se diferencia debido a que tiene una trampa de flotador y termostato.

Figura 34. **Estación de trampeo de unidad de extrusora, planta 1**



Fuente: Empresa de Alimentos.

### Planta 3

- Secadora: en la tubería que conduce el vapor a los intercambiadores se extrae el condensado; un separador de gotas acumula la humedad, luego se extrae del separador por la tubería que compone a la unidad de trampeo y la entrega a la línea principal de retorno de condensados, una válvula de bola al principio, seguida de un filtro tipo “Y” que protege a la trampa termodinámica la que permite el paso del condensado más no del vapor vivo, si funciona correctamente.

Justamente antes de ingresar al intercambiador se vuelve a extraer el condensado que pudiera haber quedado, una trampa termodinámica seguida de una válvula de retención realiza la función de extracción.

A la salida de cada intercambiador, cuatro estaciones de trampeo recuperan el condensado luego de la transferencia de calor; cada estación de trampeo inicia con un filtro tipo Y, en la derivación se tiene una válvula de bola que permite la limpieza del filtro, le sigue a la unidad de filtrado un trampa de flotador y termostato que deja pasar únicamente el condensado, eliminando el aire y gases no condensables a través del termostato; a la salida de la trampa, una válvula de bola permite verificar de manera visual su funcionamiento; al final una válvula de retención evita que el condensado retorne, (ver figura 35).

Figura 35. **Estación de trampeo de secadora, planta 3**



Fuente: Empresa de Alimentos.

- Ollas cocción miel: el vapor que ingresa a cada olla de cocción realiza su transferencia de calor; el condensado generado es retornado a la red de condensados, (ver figura 36); una trampa termodinámica seguida de una válvula de retención realizan la función. Todo el equipo de la estación es de ½ pulgada de diámetro.

Figura 36. **Estación de trampeo de ollas de cocción de miel**



Fuente: Empresa de Alimentos.

- Extrusor: el ramal principal de vapor hacia la unidad extrusora es trampeado; una trampa termodinámica de disco y una válvula de globo forman la estación de trampeo. Cada subdivisión del ramal es trampeada antes de pasar por el termómetro indicado en la sección ramales de distribución; la unidad de trampeo la conforman una trampa de disco termodinámica, una válvula de globo y al final una válvula de retención que evita que el condensado de la línea principal retorne por diferencia de presión.

A la salida de la unidad extrusora una estación de trampeo permite el paso únicamente de condensado, una vez que funcione correctamente; está conformada por una unidad de filtrado tipo “Y”, seguida de una trampa de balde invertido, a la salida una válvula de retención evita el regreso del condensado, al final una válvula de globo permite abrir o cerrar el paso del condensado; toda la estación de trampeo es de  $\frac{3}{4}$  de pulgada de diámetro, (ver figura 37).

Figura 37. **Estación de trampeo de extrusor, planta 3**



Fuente: Empresa de Alimentos.

- Tanques de cocción: cada tanque de cocción cuenta con su estación de trampeo al final del equipo, la estación de trampeo la conforman, una trampa de flotador y un termostato seguida de una válvula de retención. La tubería es de acero inoxidable, (ver figura 38). La particularidad de estas estaciones es que expulsan el condensado del sistema, es decir no lo retornan al tanque de condensados.

Figura 38. **Estación de trampeo de tanques de cocción, planta 3**



Fuente: Empresa de Alimentos.

- Calentadores de aire: cada calentador de aire es trampeado, a su entrada y a su salida, la estación de trampeo antes de ingresar al equipo, está conformada por una válvula de flotador y termostato seguida de una válvula de bola; a la salida del equipo una vez que el vapor ha realizado el intercambio de calor y se forma condensado, es trampeado, una trampa de flotador y termostato, y una válvula de globo forman la estación de trampeo, (ver figura 39).

Figura 39. **Estación de trampeo de calentador de aire**



Fuente: Empresa de Alimentos.

- Acondicionador: la derivación al acondicionador es trampeada justo en la unidad separadora de gotas debido a que acumula condensado, la unidad de trampeo la conforman una trampa de flotador y termostato, seguida de una válvula de globo para controlar el paso del condensado. Ver figura 40.

Figura 40. **Estación de trampeo de acondicionador, planta 3**



Fuente: Empresa de Alimentos.

### 2.2.3. Estaciones para bombeo de condensado

Únicamente planta 3 cuenta con estaciones para bombeo de condensado, una bombea el condensado recuperado de los intercambiadores de calor de la secadora, y de la unidad de extrusión, (ver figura 41).

Figura 41. **Estación de trampeo de bomba de condensado 1**



Fuente: Empresa de Alimentos.

La otra estación bombea el condensado recuperado de los acondicionadores y calentadores de aire, (ver figura 42).

Figura 42. **Estación de trampeo de bomba de condensado 2**



Fuente: Empresa de Alimentos.

Las bombas para bombeo de condensado son de desplazamiento positivo movidas con vapor de la marca Spirax Sarco, STK 728611.3, la presión máxima de operación es de 200 psig; la temperatura máxima de operación es de 650 °F o 343 °C.

A la bomba ingresa vapor vivo como elemento motriz a través de una tubería de ½ pulgada de diámetro; el vapor *flash* producido por la bomba y el depósito colector es conducido al exterior, es decir eliminado del sistema por una tubería de ½ pulgada de diámetro; el condensado que es bombeado se acumula en un depósito colector, arriba de la bomba, la entrada del condensado a la bomba proveniente del depósito colector de condensados es de 2 pulgadas de diámetro, al igual que a la salida de la bomba.

### **2.3. Caldera**

Dos calderas suministran el vapor que se demanda en las plantas de producción, trabajan de forma alterna por períodos de 6 meses; de presentarse cualquier inconveniente que imposibilite el funcionamiento de la caldera en función, se procede a poner en marcha la otra; al momento del análisis lógicamente se encontró funcionando solo una caldera, por lo que el estudio se delimita a esta unidad de generación de vapor.

#### **2.3.1. Especificaciones técnicas**

La unidad de generación de vapor es una caldera *Cleaver Brooks, CBPACKAGED BOILER*, Modelo CB 600-300, (ver figura 43), la presión máxima de operación es de 150 Psi, la caldera es del tipo pirotubular; en este tipo de calderas los gases producto de la combustión circulan dentro de los tubos de la caldera, y el agua los rodea, de esta forma se realiza la transferencia de calor; la caldera es de 4 pasos; esta denominación indica el

número de veces que los gases producto de la combustión pasan por los tubos antes de salir de la caldera.

Figura 43. **Caldera Cleaver Brooks modelo CB600:300**



Fuente: Empresa de Alimentos.

El combustible que alimenta a la caldera es Bunker, aceite combustible núm. 6, su punto de inflamabilidad es de 65 °C; su poder calorífico es de 151 300 a 155 900 Btu/galón. El tanque de combustible en el cuarto de calderas tiene una capacidad de almacenamiento de 135 galones; el combustible es precalentado en el tanque para disminuir su viscosidad, facilitando el bombeo y creando las condiciones para una completa combustión, manteniéndolo a una temperatura promedio de 70 °C, (ver figura 44).

Figura 44. **Tanque de almacenamiento de combustible calderas**



Fuente: Empresa de Alimentos.

El agua de alimentación a la caldera es bombeada por una bomba Grundfos, CRS UH, cuya presión máxima de operación es de 230 psi. La presión de entrada en la bomba es de 40 psi, entregándola a 120 psi directo a la caldera, (ver figura 45).

Figura 45. **Bomba Grundfos CRSUH**



Fuente: Empresa de Alimentos.

### **2.3.2. Capacidad actual**

La capacidad de producción de vapor, de igual forma el consumo de *bunker* necesario para su generación, se pueden analizar con los valores proporcionados por los medidores de flujo recientemente instalados, uno ubicado en la entrada del bunker a la caldera y el otro en la tubería de vapor de la caldera. Los medidores tienen la capacidad de almacenar los valores minuto a minuto, en la tabla que se muestra a continuación se presentan los valores ya promediados por día, tanto del flujo de bunker consumido, como también el promedio de vapor entregado por la caldera, (ver Tabla I).

La capacidad instalada de la caldera es de 300 BHP.

$$1 \text{ BHP} = 34,5 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

$$\text{Capacidad instalada} \frac{\text{lb}}{\text{h}} = (300 \text{ BHP}) * \left( \frac{34,5 \frac{\text{lb}}{\text{h}}}{1 \text{ BHP}} \right) = 10\,350 \text{ lb/h}$$

De tabla II se conoce:

$$\text{Capacidad utilizada} \frac{\text{lb}}{\text{h}} = 5\,170,8582 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

$$\% \text{ capacidad utilizada} = \frac{5\,170,8582 \text{ lb/h}}{10\,350 \text{ lb/h}} = 49,959 \%$$

$$\text{Capacidad libre} \frac{\text{lb}}{\text{h}} = \left( 10\,350 \frac{\text{lb}}{\text{h}} - 5\,170,8582 \frac{\text{lb}}{\text{h}} \right) = 5\,179,1418 \text{ lb/h}$$

$$\% \text{ capacidad libre} = (100\% - 49,959 \%) = 50,04 \%$$

Tabla I. **Flujo de vapor y consumo de bunker diario**

Mes	Fecha	Día		Promedio	Promedio	Relación
				Flujo bunker	VaporCaldera	vap/Bunker
				gl/h	Lb/h	Lb/gal
Octubre	01/10/2014	1	1	43,8291	5 931,3412	135,3288
	02/10/2014	2	2	45,5070	6 222,6158	136,7397
	03/10/2014	3	3	41,4273	5 650,5331	136,3965
	04/10/2014	4	4	39,3348	5 348,9847	135,9861
	05/10/2014	5	5	32,0741	4 172,3145	130,0835
	06/10/2014	6	6	42,5351	5 683,9674	133,6302
	07/10/2014	7	7	46,0028	6 224,0402	135,2968
	08/10/2014	8	8	49,8435	6 749,7923	135,4196
	09/10/2014	9	9	48,0139	6 495,1859	135,2772
	10/10/2014	10	10	41,6834	5 567,2610	133,5605
	11/10/2014	11	11	33,3537	4 429,2470	132,7964
	12/10/2014	12	12	33,8416	3 920,5284	115,8493
	13/10/2014	13	13	39,3180	5 325,9804	135,4591
	14/10/2014	14	14	47,7224	6 536,1751	136,9625
	15/10/2014	15	15	47,3934	6 492,2676	136,9867
	16/10/2014	16	16	52,9550	7 241,6676	136,7514
	17/10/2014	17	17	48,2157	6 549,4018	135,8354
	18/10/2014	18	18	37,0151	5 028,0231	135,8373
	19/10/2014	19	19	31,0954	4 171,7357	134,1593
	20/10/2014	20	20	29,2742	3 837,4552	131,0866
	21/10/2014	21	21	48,2154	6 321,1485	131,1023
	22/10/2014	22	22	54,9363	7 565,2761	137,7100
	23/10/2014	23	23	54,2199	7 456,9572	137,5318
02/11/2014	2	24	32,5376	3 913,2177	120,2676	
03/11/2014	3	25	42,1015	5 286,7673	125,5719	
04/11/2014	4	26	44,8504	5 776,9164	128,8041	
05/11/2014	5	27	43,5320	5 888,3424	135,2647	
06/11/2014	6	28	47,4310	6 443,0269	135,8400	
07/11/2014	7	29	48,1639	6 521,9174	135,4109	
08/11/2014	8	30	36,2553	4 809,9564	132,6691	
09/11/2014	9	31	28,1320	3 651,7756	129,8086	

Continuación de la tabla I.

	10/11/2014	10	32	42,8828	5 674,6319	132,3288
	11/11/2014	11	33	46,7897	6 327,5419	135,2336
	12/11/2014	12	34	52,9290	7 201,3015	136,0559
	13/11/2014	13	35	52,4081	7 089,4212	135,2733
	14/11/2014	14	36	33,7246	4 216,2858	125,0212
	15/11/2014	15	37	31,6887	4 166,3869	131,4786
	16/11/2014	16	38	30,3192	3 988,0490	131,5353
	17/11/2014	17	39	37,8978	5 044,9850	133,1208
	18/11/2014	18	40	46,2898	6 150,8890	132,8779
	19/11/2014	19	41	46,6199	6 163,2572	132,2022
	20/11/2014	20	42	51,5551	6 835,4659	132,5856
	21/11/2014	21	43	43,7933	5 790,7464	132,2290
	22/11/2014	22	44	35,3530	4 620,0903	130,6845
	23/11/2014	23	45	34,6060	4 576,4387	132,2439
	24/11/2014	24	46	38,3875	5 057,4040	131,7460
Diciembre	01/12/2014	1	47	38,6500	3 932,1200	101,7366
	02/12/2014	2	48	45,4427	6 227,2329	137,0349
	03/12/2014	3	49	35,5000	5 051,7950	142,3041
	04/12/2014	4	50	43,0287	5 420,1026	125,9649
	08/12/2014	8	51	41,5413	5 250,3469	126,3886
	09/12/2014	9	52	41,2040	5 380,9812	130,5936
	10/12/2014	10	53	37,0791	4 699,3221	126,7379
	11/12/2014	11	54	41,5977	5 487,9424	131,9290
	12/12/2014	12	55	39,7260	5 221,4945	131,4378
	13/12/2014	13	56	36,3842	4 865,4145	133,7231
	14/12/2014	14	57	31,7163	4 225,8531	133,2392
	15/12/2014	15	58	36,0828	4 812,5619	133,3757
	16/12/2014	16	59	32,6132	4 285,9480	131,4178
	18/12/2014	18	60	51,3186	6 760,5829	131,7375
	19/12/2014	19	61	34,6546	4 594,7317	132,5865
	20/12/2014	20	62	35,9595	4 617,3666	128,4046
21/12/2014	21	63	31,1996	4 052,5683	129,8915	
22/12/2014	22	64	33,1719	4 154,8978	125,2534	
23/12/2014	23	65	36,4957	4 286,7322	117,4584	
26/12/2014	26	66	30,6376	3 632,4543	118,5620	
27/12/2014	27	67	32,2575	3 980,4626	123,3964	
28/12/2014	28	68	31,4788	3 940,1107	125,1673	
29/12/2014	29	69	30,6139	3 788,9356	123,7653	
	07/01/2015	7	70	47,9683	6 353,5003	132,4521
	08/01/2015	8	71	40,8331	5 319,2056	130,2671
	09/01/2015	9	72	34,1464	4 412,0823	129,2108
	10/01/2015	10	73	29,1278	3 825,1696	131,3236
	11/01/2015	11	74	28,4977	3 734,6616	131,0511
	12/01/2015	12	75	40,6651	5 263,2949	129,4302
	13/01/2015	13	76	46,5307	6 033,4817	129,6667
	14/01/2015	14	77	46,5307	6 033,4817	129,6667
	15/01/2015	15	78	46,4973	5 952,4689	128,0175
	16/01/2015	16	79	51,3630	6 668,7331	129,8354
	17/01/2015	17	80	34,9023	4 403,6679	126,1712
	18/01/2015	18	81	21,0332	2 656,6740	126,3087
	19/01/2015	19	82	34,7786	3 784,6964	108,8227
	20/01/2015	20	83	31,9014	4 030,4696	126,3415
21/01/2015	21	84	32,9782	4 135,2565	125,3937	
22/01/2015	22	85	33,2440	4 167,7453	125,3682	
23/01/2015	23	86	30,2477	3 700,4777	122,3391	
24/01/2015	24	87	23,7225	2 328,1808	98,1423	
26/01/2015	26	88	33,4231	4 194,8663	125,5081	
27/01/2015	27	89	45,6523	6 113,6345	133,9174	
28/01/2015	28	90	44,8023	6 131,4043	136,8545	
29/01/2015	29	91	35,3634	4 518,2792	127,7670	

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Flujo promedio de vapor y consumo de bunker**

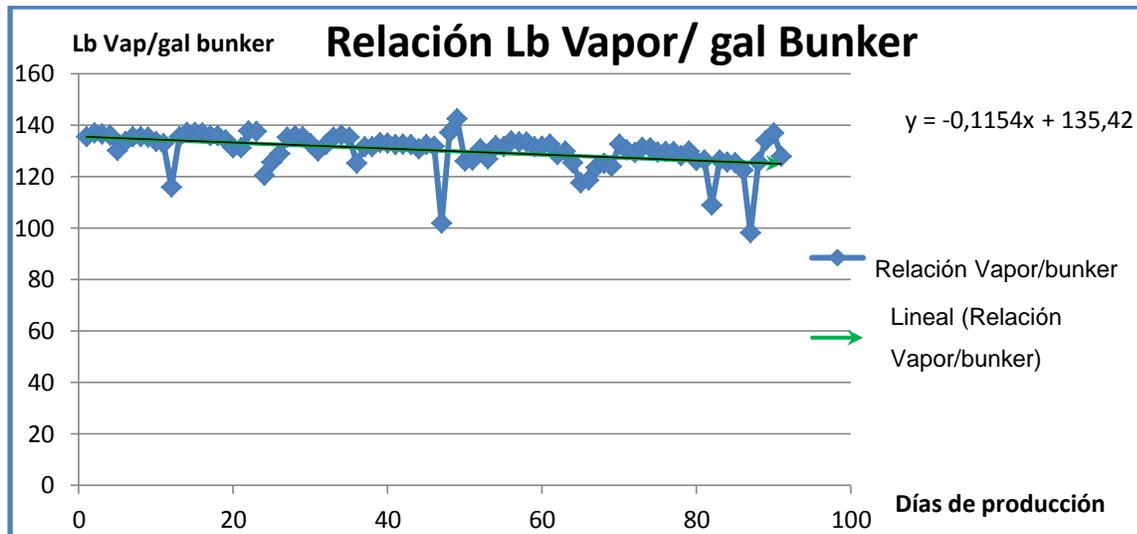
Promedio	Promedio	Cantidad de Búnker necesario para
Flujo <i>búnker</i>	Vapor Caldera	producir 1lb de vapor
gl/h	Lb/h	gl
39,5452	5 170,8582	0,0076

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los datos presentados en la tabla II, la caldera trabajando a plena carga tiene la capacidad de producir 5 170,86 libras de vapor por hora, para lo que necesita 39,55 galones de bunker por hora; por tanto se necesita 0,00764 galones de bunker para producir 1 libra de vapor.

El gráfico de la figura 46 muestra la relación libras de vapor/galones de bunker; se observa que la tendencia es decreciente; puede ocurrir que se esté utilizando más bunker para producir la misma cantidad de vapor o que se esté generando menos vapor con la misma cantidad de bunker; esta situación se puede atribuir al mal ajuste o al quemador de la caldera realizado por el operador de turno; en el gráfico resaltan algunos picos de incremento de la relación, en estos puntos seguramente la caldera ha sido ajustada correctamente.

Figura 46. Gráfico libras de vapor vs galones de bunker consumidos



Fuente: elaboración propia.

## 2.4. Tanque de condensados

El sistema de retorno de condensados es del tipo abierto, (ver figura 47), es decir se encuentra abierto a la atmósfera; el tanque está a 2,72 metros sobre el nivel del suelo. Debido al vapor *flash* del condensado se observa un flujo de vapor saliendo del tanque. La superficie del tanque está sin aislamiento térmico.

### 2.4.1. Especificaciones técnicas

Se definen las normas, exigencias y procedimientos a ser empleados y aplicados en todos los trabajos de construcción de obras, elaboración de estudios y fabricación de equipos.

Figura 47. **Tanque de condensados**



Fuente: Empresa de Alimentos.

#### **2.4.2. Capacidad actual**

El diámetro del tanque es de 2 metros, el largo es 3,25 metros, la capacidad de almacenamiento es de 10 m<sup>3</sup>.

#### **2.5. Mantenimiento de la red de vapor**

El mantenimiento realizado a la red de distribución de vapor y retorno de condensados, hasta hace poco tiempo se enfocaba en corregir más que prevenir; se está comenzando a dar los primeros pasos para planificar tareas de mantenimiento preventivo para la red; básicamente consisten en la toma de termografías a trampas de vapor; el problema es que no está definido algún procedimiento tanto para la toma de la termografía como del análisis posterior para la obtención de resultados, además no se tiene un registro que permita identificar con facilidad la ubicación de los elementos que conforman la red de vapor. A continuación se muestra en la figura 48, el formato de orden de trabajo que se está utilizando en la actualidad, para efectuar el mantenimiento preventivo a algunos elementos de la red de vapor.

Figura 48. Orden de trabajo cerrada

Orden de Trabajo Cerrada Folio:		OT001110																																					
Responsable: <u>MAURICIO FLORIAN</u>		 Duración aproximada: 4 h 00 m del: 11-feb.-2015 al: 28-feb.-2015																																					
<b>SECADORA WENGER</b>																																							
<i>Actividades rutinarias</i>																																							
\ TRAMPAS DE VAPOR: Termografía																																							
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>1.1</td><td>1.2</td><td>1.3</td><td>1.4</td><td>1.5</td><td>1.6</td><td>1.7</td><td>1.8</td><td>1.9</td><td>2.0</td><td>2.1</td><td>2.2</td><td>2.3</td><td>2.4</td><td>2.5</td><td>2.6</td><td>2.7</td><td>2.8</td> </tr> <tr> <td></td><td>✓</td><td></td><td></td><td>○</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>			1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8		✓			○														
1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8																						
	✓			○																																			
<b>SECADORA WENGER</b>																																							
<i>Actividades rutinarias</i>																																							
\ TRAMPAS DE VAPOR: Termografía																																							
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>1.1</td><td>1.2</td><td>1.3</td><td>1.4</td><td>1.5</td><td>1.6</td><td>1.7</td><td>1.8</td><td>1.9</td><td>2.0</td><td>2.1</td><td>2.2</td><td>2.3</td><td>2.4</td><td>2.5</td><td>2.6</td><td>2.7</td><td>2.8</td> </tr> <tr> <td></td><td>✓</td><td></td><td></td><td>○</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>			1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8		✓			○														
1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8																						
	✓			○																																			
<b>ACONDICIONADOR &lt;ACD-X201-06-M332B&gt;</b>																																							
<i>Actividades rutinarias</i>																																							
\ SISTEMA DE CALENTAMIENTO\ TRAMPAS DE VAPOR: Termografía																																							
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>1.1</td><td>1.2</td><td>1.3</td><td>1.4</td><td>1.5</td><td>1.6</td><td>1.7</td><td>1.8</td><td>1.9</td><td>2.0</td><td>2.1</td><td>2.2</td><td>2.3</td><td>2.4</td><td>2.5</td><td>2.6</td><td>2.7</td><td>2.8</td> </tr> <tr> <td></td><td>✓</td><td></td><td></td><td>○</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>			1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8		✓			○														
1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8																						
	✓			○																																			
<b>ACONDICIONADOR &lt;ACD-X202-06-M813&gt;</b>																																							
<i>Actividades rutinarias</i>																																							
\ SISTEMA DE CALENTAMIENTO\ TRAMPAS DE VAPOR: Termografía																																							
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>1.1</td><td>1.2</td><td>1.3</td><td>1.4</td><td>1.5</td><td>1.6</td><td>1.7</td><td>1.8</td><td>1.9</td><td>2.0</td><td>2.1</td><td>2.2</td><td>2.3</td><td>2.4</td><td>2.5</td><td>2.6</td><td>2.7</td><td>2.8</td> </tr> <tr> <td></td><td>✓</td><td></td><td></td><td>○</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>			1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8		✓			○														
1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8																						
	✓			○																																			
Observaciones: Todas las trampas en buen estado																																							
mayo 22, 2015 02:56 pm		Página 1 de 1																																					
		(clave ISO) (revisión ISO)																																					

Fuente: elaboración propia, con programa MP9.

### **3. ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA**

#### **3.1. Eficiencia de caldera**

A continuación se explicará la eficiencia de caldera.

##### **3.1.1. Combustible**

Debido a los grandes avances tecnológicos hoy en día se cuenta con equipos que permiten estudiar de manera rápida, sencilla y confiable, variables que forman parte de un proceso industrial susceptibles de mejorar. Tal es el caso del analizador portátil de combustibles y emisiones, diseñado para muestrear la combustión de hornos, calderas entre otros.

El analizador de gases (ver figura 49) permite principalmente determinar la eficiencia de la combustión, el exceso de aire presente en la mezcla y el grado de bióxido de carbono y cobalto que se expulsan a través de la chimenea de caldera. Es necesario resaltar que al realizar el muestreo se debe tener el conocimiento pleno del tipo de combustible que está siendo utilizado, debido a que el equipo tiene la capacidad de tomar muestras para una amplia variedad de combustibles y basta con seleccionar el necesario para evitar discrepancias en los resultados.

Figura 49. **Kit típico de PCA3 BACHARACH**



Fuente: Analizador portátil de combustión. *Manual de funcionamiento*. pág. 9.

El procedimiento para el uso adecuado del analizador se muestra en la figura 51, inicia con el encendido del equipo; de forma inmediata da inicio un período de calentamiento de 1 minuto, lapso durante el cual el equipo ejecuta un autodiagnóstico con el que se buscan posibles errores de hardware y software que provoquen desviaciones en los resultados obtenidos, así como la puesta a cero, registrando la temperatura y niveles de gases presentes en el ambiente. Si no se presenta ningún tipo de error en pantalla, el instrumento entrará en la fase de prueba de combustión apagado.

Antes de iniciar la prueba de combustión se debe asegurar la selección del combustible que emplea el equipo; en este caso el combustible se identifica como Oil núm. 6 en el menú del equipo.

Figura 50. **Uso adecuado del analizador de combustión**



Fuente: Empresa de Alimentos.

El analizador está integrado por una sonda con filtro colector y una manguera que integra una termocupla; se conectan a la parte inferior del analizador y son el medio por el cual se extrae la muestra de gases y el registro de temperatura de los gases en la chimenea.

El muestreo inicia introduciendo el tubo de la sonda en la chimenea de gases de combustión; para lo cual debe existir un orificio que se pueda abrir y cerrar cada vez que se realice el muestreo, justo a la salida de la caldera; es decir en la parte más baja de la chimenea, una válvula de tipo bola es la indicada. Lo que se busca es que la corriente de gases de la chimenea circule por el tubo de la sonda. Colocado el equipo completo se da inicio a las lecturas; oprimiendo el botón Run/Hold aparecerá en pantalla prueba de combustión encendido *Combustion Test Run* (ver figura 51).

Figura 51. **Muestreo con el analizador de combustión**



Fuente: Empresa de Alimentos.

El analizador de gases dará por iniciado el muestreo y al final mostrará en pantalla los valores que se han medido y calculado. Para obtener valores precisos en la medición se recomienda un tiempo mínimo durante el análisis de 3 minutos.

### **3.1.2. Agua de alimentación**

La caldera es abastecida con agua fresca de alimentación previamente tratada a través de suavizadores; el objetivo es retener toda aquella sustancia que provoque formación de sólidos en el sistema. El agua de alimentación se complementa además con una cantidad proveniente de la recuperación de condensado del sistema; la mezcla se realiza en el tanque de condensados.

Figura 52. **Elemento secundario de termocopla y medidor de nivel de tanque de condensado**



Fuente: Empresa de Alimentos.

Una termocopla y un medidor de nivel instalados dentro del tanque funcionan como elemento primario de medición para luego mostrar en pantalla, (ver figura 52) y monitorear de manera permanente la temperatura del agua, así como el nivel del tanque de condensados, obteniendo los valores siguientes (ver tabla III).

Tabla III. **Nivel y temperatura de tanque de condensados**

Mes	Fecha	NivelTq	Temp
		Condensado	TqCondensado
		%	Centigrados
NOVIEMBRE	20/11/2014	42,1054	75,9694
	21/11/2014	42,4476	76,3082
	22/11/2014	42,7051	74,7017
	23/11/2014	42,6226	77,0351
	24/11/2014	42,6951	77,1448
	25/11/2014	42,5253	76,8543
	26/11/2014	42,4425	74,1781
	27/11/2014	42,8028	72,5741
	28/11/2014	42,3219	74,3508
	29/11/2014	42,6376	75,7770
	30/11/2014	43,6756	54,5581

Continuación de la tabla III.

DICIEMBRE	01/12/2014	43,6152	55,5510	
	02/12/2014	42,7865	70,3308	
	03/12/2014	42,4288	69,7448	
	04/12/2014	42,2699	69,5821	
	05/12/2014	50,8019	61,7060	
	06/12/2014	87,1076	27,1964	
	07/12/2014	54,8810	18,6972	
	08/12/2014	43,4780	48,2845	
	09/12/2014	42,8295	63,2960	
	10/12/2014	42,5390	56,0897	
	11/12/2014	42,9753	49,7427	
	16/12/2014	42,9489	53,5685	
	17/12/2014	42,4222	53,0396	
	18/12/2014	42,6105	53,9633	
	22/12/2014	42,5161	53,0398	
	23/12/2014	42,8843	52,3554	
	24/12/2014	42,9166	43,1281	
	25/12/2014	43,7132	28,5552	
	26/12/2014	43,3640	42,0426	
	27/12/2014	42,8194	51,8102	
	28/12/2014	42,5690	53,3517	
	29/12/2014	52,3617	50,1795	
	30/12/2014	87,3228	26,0631	
	31/12/2014	84,4699	23,8634	
	ENERO	01/01/2015	84,4956	22,6538
		02/01/2015	84,7438	17,0420
		03/01/2015	85,0045	11,0306
		04/01/2015	82,7690	5,2459
		05/01/2015	61,5971	28,5706
		06/01/2015	42,3573	51,4186
		07/01/2015	42,4848	51,0510
	21/01/2015	42,7646	73,2321	
	22/01/2015	42,3932	73,7663	
	26/01/2015	42,5303	74,6078	
	27/01/2015	42,7778	75,1111	
	28/01/2015	42,6564	74,5097	
	29/01/2015	41,9063	67,7911	
	30/01/2015	42,8740	57,3662	
	31/01/2015	42,9306	63,9831	

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. Nivel y temperatura promedio de tanque de condensados

Nivel tanque	Temperatura	Temperatura
Condensado	Tanque condensado	Tanque condensado
%	Centigrados	Fahrenheit
49,6379	54,6402	130,3524

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.3. Gases producto de la combustión

Para la determinación de la eficiencia de la combustión se realizó un total de 38 mediciones (ver tabla V), con el analizador de gases; con cada una de ellas se determinaron los valores siguientes:

Tabla V. Muestreo con analizador de combustión

Prueba núm.	Combustible	% O <sub>2</sub>	%EFF	% CO <sub>2</sub>	%EA	T-Stk °C	T-Air °C
1	Oil 6	2,90	89,10	14,20	14,90	167,00	24,60
2	Oil 6	6,50	87,80	11,40	42,50	171,00	27,20
3	Oil 6	4,20	87,60	13,20	23,20	197,00	28,60
4	Oil 6	4,20	87,40	13,20	23,40	202,00	28,60
5	Oil 6	4,30	87,20	13,10	24,40	205,00	28,60
6	Oil 6	5,10	86,90	12,50	30,30	203,00	28,70
7	Oil 6	3,40	87,60	13,80	18,40	198,00	22,90
8	Oil 6	3,40	87,50	13,80	18,50	199,00	23,00
9	Oil 6	3,50	88,40	13,80	18,60	177,00	23,00
10	Oil 6	8,60	84,70	9,70	65,80	207,00	27,40
11	Oil 6	8,60	84,90	9,70	65,80	206,00	29,20
12	Oil 6	4,20	88,30	13,20	23,40	183,00	30,40
13	Oil 6	6,60	87,50	11,30	43,20	179,00	30,40
14	Oil 6	9,40	84,60	9,10	76,70	201,00	29,90
15	Oil 6	2,60	88,40	14,50	13,10	197,00	36,50
16	Oil 6	3,60	88,10	13,60	19,70	195,00	34,40
17	Oil 6	2,50	89,00	14,50	13,00	181,00	34,10
18	Oil 6	2,70	88,20	14,40	13,70	199,00	33,80
19	Oil 6	3,60	87,60	13,70	19,30	202,00	28,90
20	Oil 6	2,40	88,50	14,60	12,00	199,00	37,80
21	Oil 6	3,00	88,20	14,10	15,70	202,00	37,50
22	Oil 6	3,80	87,70	13,50	20,90	206,00	37,40
23	Oil 6	4,20	87,40	13,20	23,70	211,00	37,40
24	Oil 6	4,80	86,80	12,70	28,00	217,00	37,30
25	Oil 6	3,70	87,90	13,60	20,00	197,00	32,10
26	Oil 6	3,10	88,20	14,00	16,50	198,00	35,10
27	Oil 6	3,50	87,50	13,80	18,70	213,00	36,50
28	Oil 6	3,10	88,60	14,10	16,10	192,00	38,40
29	Oil 6	3,30	88,40	13,90	17,70	189,00	32,10
30	Oil 6	5,70	88,00	12,00	35,20	178,00	32,30
31	Oil 6	9,20	85,10	9,20	74,00	193,00	27,40
32	Oil 6	8,90	85,30	9,50	69,40	193,00	28,00
33	Oil 6	6,40	87,00	11,50	41,00	195,00	33,00
34	Oil 6	6,80	86,40	11,10	45,50	202,00	33,20

Continuación de la tabla V.

35	Oil 6	3,70	88,10	13,60	20,00	194,00	33,50
36	Oil 6	3,70	88,10	13,60	19,80	193,00	33,60
37	Oil 6	3,30	88,40	13,90	17,70	189,00	33,70
38	Oil 6	4,70	87,60	12,80	27,10	199,00	33,90

Fuente: elaboración propia.

La eficiencia de combustión de la caldera se determina por los valores de temperatura de la chimenea (temperatura de los gases de escape) y el porcentaje de bióxido de carbono. La tabla VI muestra los valores promedio obtenidos.

Tabla VI. **Promedio del muestreo con analizador de combustión vs valores estándar**

PROMEDIO MUESTREO CON ANALIZADOR				
Combustible	% O <sub>2</sub>	% EFF	% CO <sub>2</sub>	T-Stk (Temperatura chimenea)°C
Búnker 6	4,674	87,4737	12,8263	19,5
VALORES ESTÁNDAR				
Combustible	% O <sub>2</sub>	% EFF	% CO <sub>2</sub>	T-Stk (Temperatura chimenea)°C
Búnker 6	0	82 - 85	12 1/2 - 13	200

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.4. Purgas a caldera

El agua que alimenta la caldera es bombeada de acuerdo con la demanda de vapor; aún así el objetivo es evitar que la caldera se quede con el nivel de agua por debajo del mínimo recomendado por el fabricante por razones de seguridad; debido a esto, dentro de la caldera siempre existirá concentración de sólidos disueltos aunque el agua sea previamente tratada; lo que justifica y

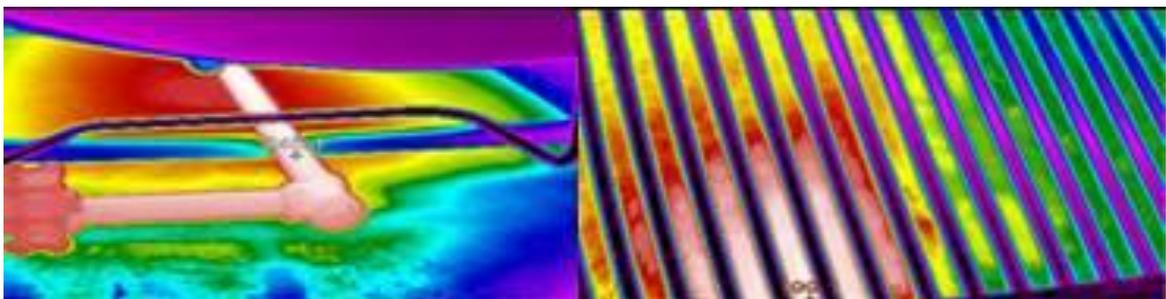
hace necesario purgar de fondo la caldera con el fin de reducir el nivel de sólidos.

El hecho de purgar la caldera implica eliminar agua caliente contenida en la caldera; esa cantidad de agua posee energía que ha sido transferida por los gases producto de la combustión.

La contraparte de no purgar es que los sólidos se incrustan a lo largo de las paredes de la tubería de manera acelerada, lo que implica realizar mantenimiento en periodos más frecuentes; además la incrustación funciona como un aislamiento para los tubos, reduciendo la eficiencia en la transferencia de calor de manera que se demanda más combustible.

La tubería por la cual se realiza la purga de fondo de caldera tiene un diámetro de 2 pulgadas; el paso se abre y cierra a través de una válvula de purga rápida que se acciona cada 2 horas durante 10 segundos. La purga es dirigida a un tanque situado a nivel del suelo, en donde el agua alcanza la temperatura ambiente y es eliminada del sistema (ver figura 54).

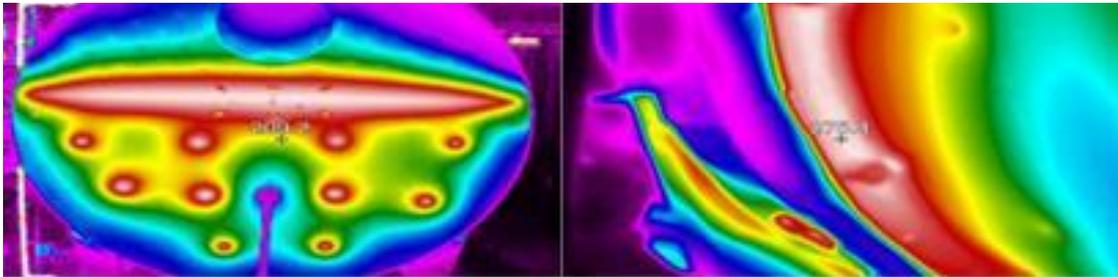
Figura 53. **Pérdidas de calor por purgas a caldera**



Fuente: experimentos realizado en Empresa de Alimentos.

La eficiencia de la caldera se determina restando a la eficiencia de combustión los porcentajes de pérdidas de calor por radiación y convección más las pérdidas por purga, pues en realidad se estudia la caldera como una máquina no ideal; es decir si fuese ideal sencillamente no existirían pérdidas de calor por radiación, convección y purga, (ver figura 55).

Figura 54. **Pérdidas de calor por radiación y convección en caldera**



Fuente: experimentos realizado en Empresa de Alimentos.

Las pérdidas a través de la purga, radiación y convección para una caldera de 300 BHP se estiman en 1,8 % del total de la eficiencia de combustión, (ver tabla VII).

Tabla VII. **Pérdidas estimadas por radiación, convección y otras**

PERDIDAS ESTIMADAS POR RADIACION, CONVECCION Y OTRAS			
kW	TAMAÑO DE LA CALDERA		% PERDIDAS
	bhp		
981	100		2.0
1 226	125		2.5
1 472	150		2.0
1 962	200		1.5
2 453	250		2.3
2 943	300		1.8
3 434	350		1.3
3 924	400		2.0
4 905	500		1.8
5 886	600		1.3
6 867	700		1.1
7 848	800		1.0

NOTA: Estas pérdidas pueden calcularse como un porcentaje de la energía de salida de la caldera y corresponden a calderas nuevas en perfectas condiciones de aislamiento. Asimismo, éstas son directamente proporcionales a la presión de operación.

Fuente: Corporación Interamericana de Inversiones. *Reducción de facturación de combustibles fósiles a través del uso racional de la energía.* p. 26.

La eficiencia de caldera se determina entonces por:

*Eficiencia de caldera*

= *Eficiencia de combustión – pérdida a través de la purga, radiación y convección.*

$$\text{Eficiencia de caldera} = 87,5 \% - 1,8 \% = 85,7 \%$$

### 3.1.5. Calidad de vapor

Para determinar la calidad o título del vapor es necesario hacer uso de las propiedades del vapor y características del flujo, en cargas normales después del arranque; de manera que se pueda establecer la cantidad de condensado que se forma justo a la salida de la caldera.

Para la presión a la salida de la caldera de 115 psig y diámetro de tubería de 6 pulgadas, interpolando (ver tabla VIII), resulta que se generan 34,8 libras de condensado/hora, por cada 100 pies de largo de tubería.

$$\begin{aligned} \text{Carga } \frac{\text{lb condensado}}{\text{hora}} \text{ Por 100 pies de longitud} \\ = \left[ \left( \frac{125 \text{ psig} - 115 \text{ psig}}{125 \text{ psig} - 100 \text{ psig}} \right) * \frac{33 \text{ lb}}{h} \right] + \left[ \left( \frac{115 \text{ psig} - 100 \text{ psig}}{125 \text{ psig} - 100 \text{ psig}} \right) * \frac{36 \text{ lb}}{h} \right] \\ = 34,8 \text{ lb/h} \end{aligned}$$

Tabla VIII. **Interpolación simple a carga libras de condensado por hora por cada 100 pies de longitud**

Presión de vapor Psig	Carga libras de condensado/hora por 100 pies de longitud
100	33,0
115	34,8
125	36,0

Fuente: elaboración propia.

El cabezal de distribución principal tiene una longitud de 20 metros; aproximadamente 65,6 pies. Por lo que se calcula tabla IX, la cantidad de condensado formado para esta longitud:

$$Lb \frac{\text{Condensado}}{\text{hora}} \text{ para } 65,6 \text{ Pies} = 34,8 \text{ lb/h} * (65,6 \text{ pies}/100 \text{ pies}) = 22 \text{ lb/h}$$

De tabla I, la caldera genera en promedio 5170,858299 lb/h de vapor.

$$\text{Calidad del vapor} = \frac{\text{libras de condensado}}{\text{libras de vapor}}$$

$$\text{Calidad del vapor} = \frac{22 \text{ lb/h}}{517,8582 \text{ lb/h}} = 0,0042$$

En el proceso de evaporación el agua existe como una parte líquida y otra de vapor; una mezcla entre líquido saturado y vapor saturado; claro está que la calidad tiene importancia únicamente cuando se trata de vapor húmedo; el valor se debería encontrar entre 0 y 1, en el presente caso 0,00425 del vapor mantiene humedad, es decir el 99,57 % del vapor producido por la caldera se encuentra libre de humedad antes de salir del cabezal de distribución principal.

Tabla IX. Propiedades del vapor y características del flujo

**PROPIEDADES DEL VAPOR & CARACTERISTICAS DEL FLUJO**

**Drenaje de Condensado en Redes Principales y líneas de distribución de Vapor**  
Tablas asumen que todas las tuberías están aisladas (Con 80% de eficiencia)

**Cargas de arranque en libras por hora de condensado por cada 100 ft. de la red de vapor**

Temperatura exterior a 70°F. Basado en tubería cédula 40 hasta 250 PSI; Cédula 80 por encima de 250 PSI; Cédula 120, 5" & mayores, por encima de 800 PSI.

Presión de Vapor (PSIG)	Medidas de tubería														°F Factor de corrección
	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"	8"	10"	12"	14"	16"	18"	20"	24"	
0	6.2	9.7	12.8	18.2	24.6	31.9	48	68	90	107	140	176	207	308	1.5
5	6.9	11.0	14.4	20.4	27.7	35.9	48	77	101	120	157	198	233	324	1.44
10	7.5	11.8	15.5	22.0	29.9	38.8	58	83	109	130	169	213	251	350	1.41
20	8.4	13.4	17.5	24.9	33.8	44	66	93	124	146	191	241	284	396	1.37
40	9.9	15.8	20.6	30.3	39.7	52	78	110	145	172	225	284	334	465	1.32
60	11.0	17.5	22.9	32.6	44	57	86	122	162	192	250	316	372	518	1.29
80	12.0	19.0	24.9	35.3	48	62	93	132	175	208	271	342	403	561	1.27
100	12.8	20.3	26.6	37.8	51	67	100	142	188	222	290	366	431	600	1.26
125	13.7	21.7	28.4	40	55	71	107	152	200	238	310	391	461	642	1.25
150	14.5	23.0	30.0	43	58	75	113	160	212	251	328	414	487	679	1.24
175	15.3	24.2	31.7	45	61	79	119	169	224	265	347	437	514	716	1.23
200	16.0	25.3	33.1	47	64	83	125	177	234	277	362	456	537	748	1.22
250	17.2	27.3	35.8	51	69	89	134	191	252	299	390	492	579	807	1.21
300	25.0	38.3	51	75	104	143	217	322	443	531	682	854	1045	1182	1.20
400	27.8	43	57	83	116	159	241	358	493	590	759	971	1163	1650	1.18
500	30.2	46	62	91	126	173	262	389	535	642	825	1033	1263	1793	1.17
600	32.7	50	67	98	136	187	284	421	579	694	893	1118	1367	1939	1.16
800	38	58	77	113	203	274	455	670	943	1132	1445	1835	2227	3227	1.16
1000	45	64	86	126	227	305	508	748	1052	1263	1612	2047	2485	3601	1.15
1200	52	72	96	140	253	340	566	833	1172	1407	1796	2280	2767	4010	1.14
1400	62	79	106	155	280	376	626	922	1297	1558	1988	2524	3064	4440	1.13
1600	71	87	117	171	309	415	692	1018	1432	1720	2194	2786	3382	4901	1.13
1750	78	94	126	184	333	448	746	1098	1544	1855	2367	3006	3648	5285	1.13
1800	80	97	129	189	341	459	764	1125	1584	1902	2427	3082	3741	5420	1.13

**Cargas Normales después del arranque en Libras de Condensado por hora por 100 ft. de Red Principal**

Temperatura exterior a 70°F. Basado en tubería cédula 40 hasta 250 PSI; Cédula 80 por encima de 250 PSI; Cédula 120, 5" & mayores, por encima de 800 PSI.

Presión de Vapor (PSIG)	Medidas de tubería														°F Factor de corrección †
	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"	8"	10"	12"	14"	16"	18"	20"	24"	
10	6	7	9	11	13	16	20	24	29	32	36	39	44	53	1.58
30	8	9	11	14	17	20	26	32	38	42	48	51	57	68	1.50
60	10	12	14	18	24	27	33	41	49	54	62	67	74	89	1.45
100	12	15	18	22	28	33	41	51	61	67	77	83	93	111	1.41
125	13	16	20	24	30	36	45	56	66	73	84	90	101	121	1.39
175	16	19	23	26	33	43	53	66	78	86	98	107	119	141	1.38
250	18	22	27	34	42	50	62	77	92	101	116	126	140	168	1.36
300	20	25	30	37	46	54	68	85	101	111	126	138	154	184	1.35
400	23	28	34	43	53	63	80	99	118	130	148	162	180	216	1.33
500	27	33	39	49	61	73	91	114	135	148	170	185	206	246	1.32
600	30	37	44	55	68	82	103	128	152	167	191	208	232	277	1.31
800	36	44	53	69	85	101	131	164	194	214	244	274	305	365	1.30
1000	43	52	63	82	101	120	156	195	231	254	290	326	363	435	1.27
1200	51	62	75	97	119	142	185	230	274	301	343	386	430	515	1.26
1400	60	73	89	114	141	168	219	273	324	356	407	457	509	610	1.25
1600	69	85	103	132	163	195	253	31	375	412	470	528	588	704	1.22
1750	76	93	113	145	179	213	278	347	411	452	516	580	645	773	1.22
1800	79	96	117	150	185	221	288	358	425	467	534	600	667	800	1.21

† Para temperatura exterior de 0°F, multiplique el valor de la carga seleccionada de la tabla por el factor de corrección mostrado.


 428 Jones Boulevard • Limerick Airport Business Center • Pottstown PA • 19404 • Tel: 610-495-5131 • Fax: 610-495-5134  
[www.watsonmcdaniel.com](http://www.watsonmcdaniel.com)

**26**

Fuente: Watson McDaniel. *Catálogo de productos*. p. 267.

### 3.1.6. Costo de generación de vapor

Para determinar el costo del vapor generado se utilizan las variables calculadas con anterioridad, presión a la salida de la caldera 115 psig, la temperatura del agua de alimentación a la caldera 130,35 grados Fahrenheit, la eficiencia de la caldera de 85,7 % y el precio del combustible bunker \$2,5/galón (Q 19,4304/galón). Tanto en el precio del bunker como el tipo de cambio se consideran los valores máximos que se presentaron durante el periodo en estudio.

Se da inicio calculando el contenido de energía en el vapor a 115 psig, de la tabla XI. Agua saturada. Se obtiene por interpolación, ver tabla X.

$$h_{vapor} = \left[ \left( \frac{120 \text{ psi} - 115 \text{ psi}}{120 \text{ psi} - 110 \text{ psi}} \right) * 1190,8 \text{ Btu/lbm} \right] + \left[ \left( \frac{115 \text{ psi} - 110 \text{ psi}}{120 \text{ psi} - 110 \text{ psi}} \right) * 1189,2 \text{ Btu/lbm} \right] = 1190 \text{ Btu/lbm}$$

Tabla X. Interpolación simple, entalpía de vapor saturado Btu/lbm

Presión psi	Entalpía vapor saturado Btu/lbm
	1 189,2
115	1 190
120	1 190,8

Fuente: elaboración propia.

La energía contenida en el agua de alimentación a 130,35 grados Fahrenheit se calcula por la tabla XIV. Agua saturada. Se obtiene por interpolación, (ver tabla XII).

Tabla XI. Agua saturada, tabla de presiones A-5E

962 I Tablas de propiedades, figuras y diagramas (unidades inglesas)

**TABLA A-5E**  
 Agua saturada. Tabla de presiones

Pres., P psia	Temp. sat., T <sub>sat</sub> °F	Volumen específico, ft <sup>3</sup> /lbm		Energía interna, Btu/lbm			Entalpía, Btu/lbm			Entropía, Btu/lbm · R		
		Liq. sat., v <sub>f</sub>	Vapor sat., v <sub>g</sub>	Liq. sat., u <sub>f</sub>	Evap., u <sub>fg</sub>	Vapor sat., u <sub>g</sub>	Liq. sat., h <sub>f</sub>	Evap., h <sub>fg</sub>	Vapor sat., h <sub>g</sub>	Liq. sat., s <sub>f</sub>	Evap., s <sub>fg</sub>	Vapor sat., s <sub>g</sub>
1	101.69	0.01614	333.49	69.72	973.99	1043.7	69.72	1035.7	1105.4	0.13262	1.84495	1.9776
2	126.02	0.01623	173.71	94.02	957.45	1051.5	94.02	1021.7	1115.8	0.17499	1.74444	1.9194
3	141.41	0.01630	118.70	109.39	946.90	1056.3	109.40	1012.8	1122.2	0.20090	1.68489	1.8858
4	152.91	0.01636	90.629	120.89	938.97	1059.9	120.90	1006.0	1126.9	0.21985	1.64225	1.8621
5	162.18	0.01641	73.525	130.17	932.53	1062.7	130.18	1000.5	1130.7	0.23488	1.60894	1.8438
6	170.00	0.01645	61.982	138.00	927.08	1065.1	138.02	995.88	1133.9	0.24739	1.58155	1.8289
8	182.81	0.01652	47.347	150.83	918.08	1068.9	150.86	988.15	1139.0	0.26757	1.53800	1.8056
10	193.16	0.01659	38.425	161.22	910.75	1072.0	161.25	981.82	1143.1	0.28362	1.50391	1.7875
14.696	211.95	0.01671	26.805	180.12	897.27	1077.4	180.16	970.12	1150.3	0.31215	1.44441	1.7566
15	212.99	0.01672	26.297	181.16	896.52	1077.7	181.21	969.47	1150.7	0.31370	1.44441	1.7549
20	227.92	0.01683	20.093	196.21	885.63	1081.8	196.27	959.93	1156.2	0.33582	1.39606	1.7319
25	240.03	0.01692	16.307	208.45	876.67	1085.1	208.52	952.03	1160.6	0.35347	1.36060	1.7141
30	250.30	0.01700	13.749	218.84	868.98	1087.8	218.93	945.21	1164.1	0.36821	1.33132	1.6995
35	259.25	0.01708	11.901	227.92	862.19	1090.1	228.03	939.16	1167.2	0.38093	1.30632	1.6872
40	267.22	0.01715	10.501	236.02	856.09	1092.1	236.14	933.69	1169.8	0.39213	1.28448	1.6766
45	274.41	0.01721	9.4028	243.34	850.52	1093.9	243.49	928.68	1172.2	0.40216	1.26506	1.6672
50	280.99	0.01727	8.5175	250.05	845.39	1095.4	250.21	924.03	1174.2	0.41125	1.24756	1.6588
55	287.05	0.01732	7.7882	256.25	840.61	1096.9	256.42	919.70	1176.1	0.41958	1.23162	1.6512
60	292.69	0.01738	7.1766	262.01	836.13	1098.1	262.20	915.61	1177.8	0.42728	1.21697	1.6442
65	297.95	0.01743	6.6560	267.41	831.90	1099.3	267.62	911.75	1179.4	0.43443	1.20341	1.6378
70	302.91	0.01748	6.2075	272.50	827.90	1100.4	272.72	908.08	1180.8	0.44112	1.19078	1.6319
75	307.59	0.01752	5.8167	277.31	824.09	1101.4	277.55	904.58	1182.1	0.44741	1.17895	1.6264
80	312.02	0.01757	5.4733	281.87	820.45	1102.3	282.13	901.22	1183.4	0.45335	1.16783	1.6212
85	316.24	0.01761	5.1689	286.22	816.97	1103.2	286.50	898.00	1184.5	0.45897	1.15732	1.6163
90	320.26	0.01765	4.8972	290.38	813.62	1104.0	290.67	894.89	1185.6	0.46431	1.14737	1.6117
95	324.11	0.01770	4.6532	294.36	810.40	1104.8	294.67	891.89	1186.6	0.46941	1.13791	1.6073
100	327.81	0.01774	4.4327	298.19	807.29	1105.5	298.51	888.99	1187.5	0.47427	1.12888	1.6032
110	334.77	0.01781	4.0410	305.41	801.37	1106.8	305.78	883.44	1189.2	0.48341	1.11201	1.5954
120	341.25	0.01789	3.7289	312.16	795.79	1107.9	312.55	878.20	1190.8	0.49187	1.09646	1.5883
130	347.32	0.01796	3.4557	318.48	790.51	1109.0	318.92	873.21	1192.1	0.49974	1.08204	1.5818
140	353.03	0.01802	3.2202	324.45	785.49	1109.9	324.92	868.45	1193.4	0.50711	1.06858	1.5757
150	358.42	0.01809	3.0150	330.11	780.69	1110.8	330.61	863.88	1194.5	0.51405	1.05595	1.5700
160	363.54	0.01815	2.8347	335.49	776.10	1111.6	336.02	859.49	1195.5	0.52061	1.04405	1.5647
170	368.41	0.01821	2.6749	340.62	771.68	1112.3	341.19	855.25	1196.4	0.52682	1.03279	1.5596
180	373.07	0.01827	2.5322	345.53	767.42	1113.0	346.14	851.16	1197.3	0.53274	1.02210	1.5548
190	377.52	0.01833	2.4040	350.24	763.31	1113.6	350.89	847.19	1198.1	0.53839	1.01191	1.5503
200	381.80	0.01839	2.2882	354.78	759.32	1114.1	355.46	843.33	1198.8	0.54379	1.00219	1.5460
250	400.97	0.01865	1.8440	375.23	741.02	1116.3	376.09	825.47	1201.6	0.56784	0.95912	1.5270
300	417.35	0.01890	1.5435	392.89	724.77	1117.7	393.94	809.41	1203.3	0.58818	0.92289	1.5111
350	431.74	0.01912	1.3263	408.55	709.98	1118.5	409.79	794.65	1204.4	0.60590	0.89143	1.4973
400	444.62	0.01934	1.1617	422.70	696.31	1119.0	424.13	780.87	1205.0	0.62168	0.86350	1.4852
450	456.31	0.01955	1.0324	435.67	683.52	1119.2	437.30	767.86	1205.2	0.63595	0.83828	1.4742
500	467.04	0.01975	0.92819	447.68	671.42	1119.1	449.51	755.48	1205.0	0.64900	0.81521	1.4642
550	476.97	0.01995	0.84228	458.90	659.91	1118.8	460.93	743.60	1204.5	0.66107	0.79388	1.4550
600	486.24	0.02014	0.77020	469.46	648.88	1118.3	471.70	732.15	1203.9	0.67231	0.77400	1.4463

Fuente: CENGEL, Yunus; BOLES, Michael. *Termodinámica*. p. 962.

$$h_{liq} = \left[ \left( \frac{140^{\circ}F - 130,35^{\circ}F}{140^{\circ}F - 130^{\circ}F} \right) * 97,99 \text{ Btu/lbm} \right] + \left[ \left( \frac{130,35^{\circ}F - 130^{\circ}F}{140^{\circ}F - 130^{\circ}F} \right) * 107,99 \text{ Btu/lbm} \right] = 98,34 \text{ Btu/lbm}$$

Tabla XII. **Interpolación simple de la entalpía de líquido saturado Btu/lbm**

Temperatura °F	Entalpía líquido saturado Btu/lbm
130	97,99
130,35	98,34
140	107,99

Fuente: elaboración propia.

La energía adherida al agua de alimentación para la generación de vapor saturado se determina restando de la energía del vapor la energía presente en el agua de alimentación.

$$\text{Energía adherida por caldera} = \left( 1190 \frac{\text{Btu}}{\text{lbm}} - 98,34 \frac{\text{Btu}}{\text{lbm}} \right) = 1091,66 \frac{\text{Btu}}{\text{lbm}}$$

Se calcula entonces la energía del combustible bunker que se requiere para la producción del vapor:

$$\begin{aligned} \text{Energía de combustible necesaria para producir vapor a 105 psi} \\ &= (\text{Energía adherida por caldera}) / (\text{Eficiencia de caldera}) \\ &= (1091,66 \text{ Btu/lbm}) / (0,857) = 1273,815 \text{ Btu/lbm} \end{aligned}$$

Lo que sigue es calcular el costo para obtener la energía a través del combustible quemado; del cuadro 2.5 de anexos, se obtiene que, el poder calorífico del bunker sea de 0,15 MBtu/gal. El costo del bunker es de Q 19,4304/galón. Se calcula entonces el costo por MBtu generado:

$$\text{Costo por MBtu generado} = \left( \frac{Q 19,4304}{\text{galón}} \right) * \left( \frac{\text{galón}}{0,15 \text{MBtu}} \right) = \frac{Q 129 536}{\text{MBtu}}$$

Al final el costo del vapor producido a 115 psig se determina por:

$$\text{Costo del vapor producido} = \left( \frac{Q 129,536}{\text{MBtu}} \right) * \left( \frac{1 273,815 \frac{\text{Btu}}{\text{lbm}}}{10^6} \right) = \frac{Q 0,165}{\text{lbm}}$$

### 3.2. Tanque de condensado

A continuación se explicará el uso del tanque de condesando.

#### 3.2.1. Agua fresca de alimentación

A continuación se explicará el promedio de agua fresca de alimentación.

Tabla XIII. Promedio de consumo de agua fresca de alimentación

Hora de lectura	7:00 hrs		15:00 hrs		20:00 hrs	
Lectura promedio medio de flujo agua fresca de alimentación (m <sup>3</sup> )	27 944		27 955		27 963	
	m <sup>3</sup> consumido en 8 hrs		11 m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> consumido en 7 hrs		8 m <sup>3</sup>
	Promedio m <sup>3</sup> / h		1,375	Promedio m <sup>3</sup> / h		1,142 m <sup>3</sup> /h
	Promedio consumo de agua fresca de alimentación m <sup>3</sup> /h					1,25 m <sup>3</sup> /h

Fuente: elaboración propia.

La tabla XIII muestra el consumo promedio de agua fresca de alimentación, hace referencia a 1,25 m<sup>3</sup>/h. Es necesario entonces determinar el porcentaje de agua fresca de alimentación utilizado por cada libra de vapor

producido por la caldera, se conoce que la densidad del agua es de 1 000 kg/m<sup>3</sup>, el equivalente a 2 200 lb/ m<sup>3</sup>. Se calcula entonces la cantidad de lb/h de agua fresca de alimentación:

$$\frac{\text{lb}}{\text{h}} \text{ agua fresca de alimentación} = \frac{2\,200 \text{ lb}}{\text{m}^3} * \frac{1,25 \text{ m}^3}{\text{h}} = \frac{2\,750 \text{ lb}}{\text{h}}$$

Para el cálculo del porcentaje de agua fresca de alimentación contenida en cada libra de vapor producido se hace referencia a la tabla II, de la cual se obtiene que, en promedio la caldera produce 5 170,858299 lb/h de vapor. Se opera entonces la siguiente relación.

*% agua fresca de alimentación presente por cada libra de vapor producido*

$$= \frac{2\,750 \text{ lb/h}}{5\,170,858299 \text{ lb/h}} * 100 = 53,1826 \%$$

### **3.2.2. Agua de recuperación de condensados**

El porcentaje de condensado que se recupera de la red de distribución de vapor se obtiene de manera inmediata, restando al 100 % de cada libra de vapor producido por hora, el porcentaje de agua fresca de alimentación presente en cada libra de vapor producido, (100 % – 53,1826 %) = 46,8173 %.

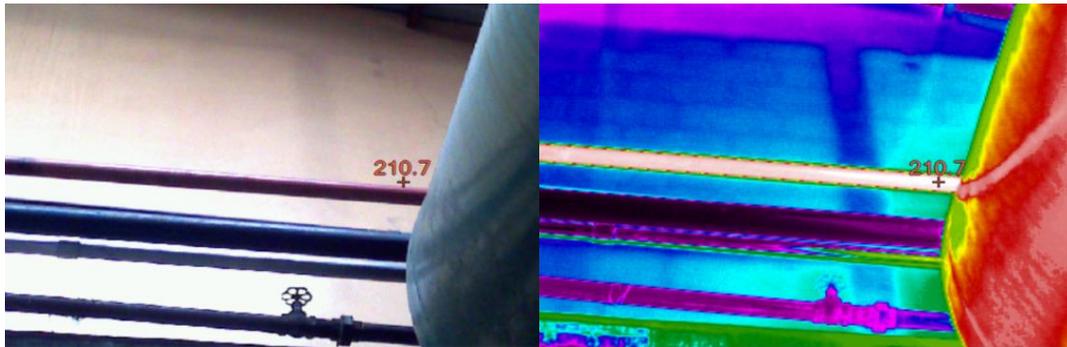
$$\frac{\text{Condensado recuperado}}{\text{hora}} = 5\,170,858299 \frac{\text{lb}}{\text{h}} * 46,8173\% = 2\,420,85 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

$$\frac{\text{Condensado recuperado}}{\text{hora}} = 2\,420,85 \frac{\text{lb}}{\text{h}} * \frac{1\text{m}^3}{2\,200 \text{ lb}} = 1,10 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

### 3.2.3. Porcentaje de vapor *flash* eliminado al ambiente

El sistema básico de recuperación de condensados es el sistema tipo abierto de retorno, denominado así debido a que el tanque de condensados está abierto a la presión atmosférica. Debido al vapor *flash* (vapor instantáneo) que se produce en el tanque es evidente un flujo de vapor eliminado por el tanque. De forma lógica se pierde la energía contenida en este vapor, además del agua limpia y tratada.

Figura 55. **Temperatura a la que el condensado retorna al tanque de recuperación**



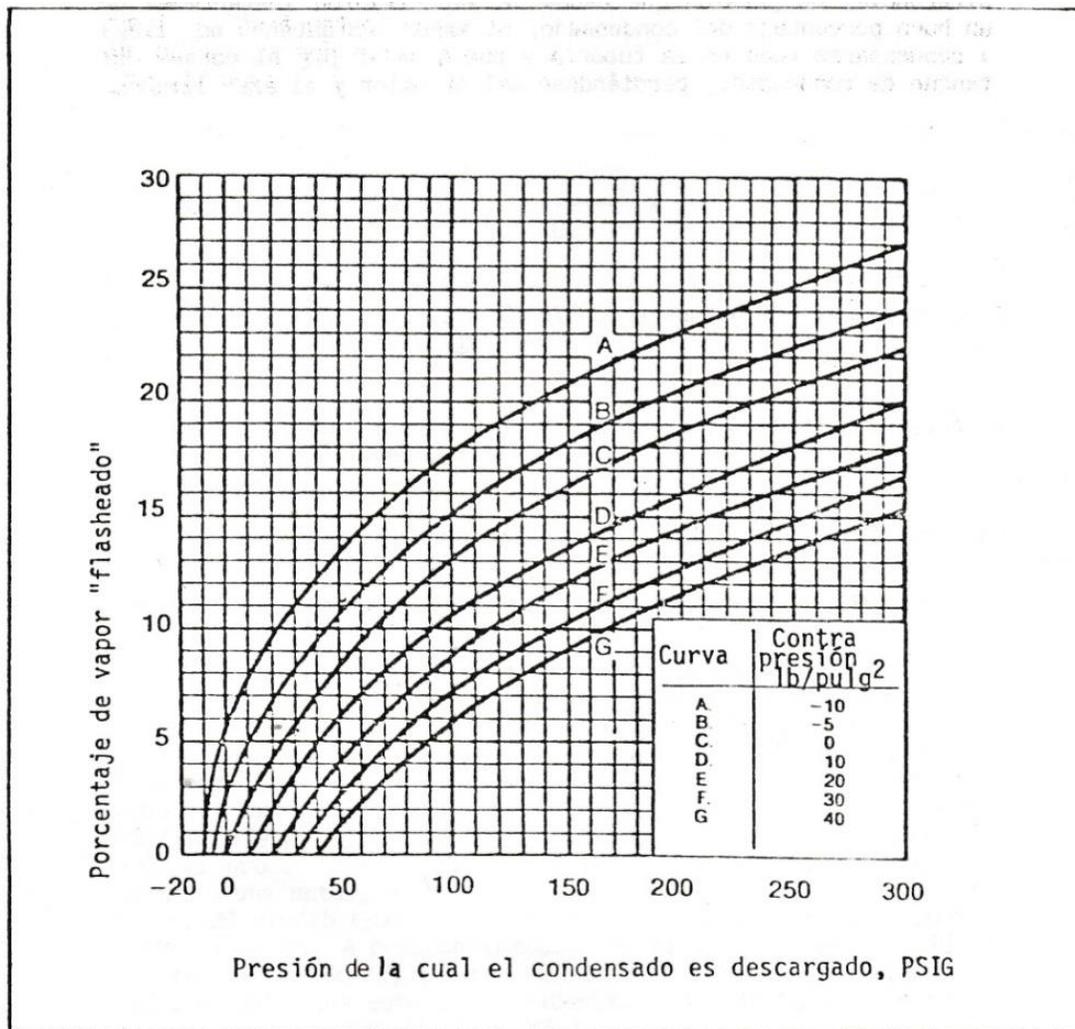
Fuente: Empresa de Alimentos.

Para el cálculo del porcentaje de vapor *flash* eliminado, primero es necesario determinar la temperatura a la cual el condensado retorna al tanque (ver figura 55), muestra que la temperatura es de 210,7 °F. con la tabla de vapor XIV, a 210,7 °F el agua contiene 178,20 Btu/lbm. Además, de la tabla XV se obtiene el dato del agua a presión atmosférica igual a 12,3755 psi (dato para la ciudad de Guatemala, Insivumeh), no puede contener más de 161,25 Btu/lbm. Entonces de pronto le sobra al condensado recuperado  $(178,20 \text{ Btu/lbm} - 161,25 \text{ Btu/lbm}) = 16,95 \text{ Btu/lbm}$ . El que se utiliza para convertir el

condensado en vapor. A la presión atmosférica la entalpía de evaporación es de 981,52 Btu/lbm. El porcentaje de vapor instantáneo se obtiene así:

$$\% \text{ de vapor instantáneo} = \frac{16,95 \text{ Btu/lbm}}{981,52 \text{ Btu/lbm}} * 100 = 1,7269 \%$$

Figura 56. **Gráfico porcentaje de vapor flasheado**



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Guatemala - CNEE. *Ahorro de energía en sistemas de vapor*. p. 186.

Tabla XIV. Propiedades de agua saturada, tabla de temperaturas A-4E

960 | Tablas de propiedades, figuras y diagramas (unidades inglesas)

**TABLA A-4E**  
 Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., T °F	Pres. sat., P <sub>sat</sub> psia	Volumen específico, ft <sup>3</sup> /lbm		Energía interna, Btu/lbm			Entalpía, Btu/lbm			Entropía, Btu/lbm · R		
		Liq. sat., v <sub>f</sub>	Vapor sat., v <sub>g</sub>	Liq. sat., u <sub>f</sub>	Evap., u <sub>fg</sub>	Vapor sat., u <sub>g</sub>	Liq. sat., h <sub>f</sub>	Evap., h <sub>fg</sub>	Vapor sat., h <sub>g</sub>	Liq. sat., s <sub>f</sub>	Evap., s <sub>fg</sub>	Vapor sat., s <sub>g</sub>
32.018	0.08871	0.01602	3299.9	0.000	1021.0	1021.0	0.000	1075.2	1075.2	0.00000	2.18672	2.1867
35	0.09998	0.01602	2945.7	3.004	1019.0	1022.0	3.004	1073.5	1076.5	0.00609	2.17011	2.1762
40	0.12173	0.01602	2443.6	8.032	1015.6	1023.7	8.032	1070.7	1078.7	0.01620	2.14271	2.1589
45	0.14756	0.01602	2035.8	13.05	1012.2	1025.3	13.05	1067.8	1080.9	0.02620	2.11587	2.1421
50	0.17812	0.01602	1703.1	18.07	1008.9	1026.9	18.07	1065.0	1083.1	0.03609	2.08956	2.1256
55	0.21413	0.01603	1430.4	23.07	1005.5	1028.6	23.07	1062.2	1085.3	0.04586	2.06377	2.1096
60	0.25638	0.01604	1206.1	28.08	1002.1	1030.2	28.08	1059.4	1087.4	0.05554	2.03847	2.0940
65	0.30578	0.01604	1020.8	33.08	998.76	1031.8	33.08	1056.5	1089.6	0.06511	2.01366	2.0788
70	0.36334	0.01605	867.18	38.08	995.39	1033.5	38.08	1053.7	1091.8	0.07459	1.98931	2.0639
75	0.43016	0.01606	739.27	43.07	992.02	1035.1	43.07	1050.9	1093.9	0.08398	1.96541	2.0494
80	0.50745	0.01607	632.41	48.06	988.65	1036.7	48.07	1048.0	1096.1	0.09328	1.94196	2.0352
85	0.59659	0.01609	542.80	53.06	985.28	1038.3	53.06	1045.2	1098.3	0.10248	1.91892	2.0214
90	0.69904	0.01610	467.40	58.05	981.90	1040.0	58.05	1042.4	1100.4	0.11161	1.89630	2.0079
95	0.81643	0.01612	403.74	63.04	978.52	1041.6	63.04	1039.5	1102.6	0.12065	1.87408	1.9947
100	0.95052	0.01613	349.83	68.03	975.14	1043.2	68.03	1036.7	1104.7	0.12961	1.85225	1.9819
110	1.2767	0.01617	264.96	78.01	968.36	1046.4	78.02	1031.0	1109.0	0.14728	1.80970	1.9570
120	1.6951	0.01620	202.94	88.00	961.56	1049.6	88.00	1025.2	1113.2	0.16466	1.76856	1.9332
130	2.2260	0.01625	157.09	97.99	954.73	1052.7	97.99	1019.4	1117.4	0.18174	1.72877	1.9105
140	2.8931	0.01629	122.81	107.98	947.87	1055.9	107.99	1013.6	1121.6	0.19855	1.69024	1.8888
150	3.7234	0.01634	96.929	117.98	940.98	1059.0	117.99	1007.8	1125.7	0.21508	1.65291	1.8680
160	4.7474	0.01639	77.185	127.98	934.05	1062.0	128.00	1001.8	1129.8	0.23136	1.61670	1.8481
170	5.9999	0.01645	61.982	138.00	927.08	1065.1	138.02	995.88	1133.9	0.24739	1.58155	1.8289
180	7.5197	0.01651	50.172	148.02	920.06	1068.1	148.04	989.85	1137.9	0.26318	1.54741	1.8106
190	9.3497	0.01657	40.920	158.05	912.99	1071.0	158.08	983.76	1141.8	0.27874	1.51421	1.7930
200	11.538	0.01663	33.613	168.10	905.87	1074.0	168.13	977.60	1145.7	0.29409	1.48191	1.7760
210	14.136	0.01670	27.798	178.15	898.68	1076.8	178.20	971.35	1149.5	0.30922	1.45046	1.7597
212	14.709	0.01671	26.782	180.16	897.24	1077.4	180.21	970.09	1150.3	0.31222	1.44427	1.7565
220	17.201	0.01677	23.136	188.22	891.43	1079.6	188.28	965.02	1153.3	0.32414	1.41980	1.7439
230	20.795	0.01684	19.374	198.31	884.10	1082.4	198.37	958.59	1157.0	0.33887	1.38989	1.7288
240	24.985	0.01692	16.316	208.41	876.70	1085.1	208.49	952.06	1160.5	0.35342	1.36069	1.7141
250	29.844	0.01700	13.816	218.54	869.21	1087.7	218.63	945.41	1164.0	0.36779	1.33216	1.6999
260	35.447	0.01708	11.760	228.68	861.62	1090.3	228.79	938.65	1167.4	0.38198	1.30425	1.6862
270	41.877	0.01717	10.059	238.85	853.94	1092.8	238.98	931.76	1170.7	0.39601	1.27694	1.6730
280	49.222	0.01726	8.6439	249.04	846.16	1095.2	249.20	924.74	1173.9	0.40989	1.25018	1.6601
290	57.573	0.01735	7.4607	259.26	838.27	1097.5	259.45	917.57	1177.0	0.42361	1.22393	1.6475
300	67.028	0.01745	6.4663	269.51	830.25	1099.8	269.73	910.24	1180.0	0.43720	1.19818	1.6354
310	77.691	0.01755	5.6266	279.79	822.11	1101.9	280.05	902.75	1182.8	0.45065	1.17289	1.6235
320	89.667	0.01765	4.9144	290.11	813.84	1104.0	290.40	895.09	1185.5	0.46396	1.14802	1.6120
330	103.07	0.01776	4.3076	300.46	805.43	1105.9	300.80	887.25	1188.1	0.47716	1.12355	1.6007
340	118.02	0.01787	3.7885	310.85	796.87	1107.7	311.24	879.22	1190.5	0.49024	1.09945	1.5897
350	134.63	0.01799	3.3425	321.29	788.16	1109.4	321.73	870.98	1192.7	0.50321	1.07570	1.5789
360	153.03	0.01811	2.9580	331.76	779.28	1111.0	332.28	862.53	1194.8	0.51607	1.05227	1.5683
370	173.36	0.01823	2.6252	342.29	770.23	1112.5	342.88	853.86	1196.7	0.52884	1.02914	1.5580
380	195.74	0.01836	2.3361	352.87	761.00	1113.9	353.53	844.96	1198.5	0.54152	1.00628	1.5478
390	220.33	0.01850	2.0842	363.50	751.58	1115.1	364.25	835.81	1200.1	0.55411	0.98366	1.5378

Fuente: CENGEL, Yunus; BOLES, Michael. *Termodinámica*. p. 960.

Tabla XV. Propiedades de agua saturada, tabla de presiones A4-5E

962 | Tablas de propiedades, figuras y diagramas (unidades inglesas)

**TABLA A-5E**

Agua saturada. Tabla de presiones

Pres., P psia	Temp. sat., $T_{sat}$ °F	Volumen específico, ft <sup>3</sup> /lbm		Energía interna, Btu/lbm			Entalpía, Btu/lbm			Entropía, Btu/lbm · R		
		Liq. sat., $v_f$	Vapor sat., $v_g$	Liq. sat., $u_f$	Evap., $u_{fg}$	Vapor sat., $u_g$	Liq. sat., $h_f$	Evap., $h_{fg}$	Vapor sat., $h_g$	Liq. sat., $s_f$	Evap., $s_{fg}$	Vapor sat., $s_g$
1	101.69	0.01614	333.49	69.72	973.99	1043.7	69.72	1035.7	1105.4	0.13262	1.84495	1.9776
2	126.02	0.01623	173.71	94.02	957.45	1051.5	94.02	1021.7	1115.8	0.17499	1.74444	1.9194
3	141.41	0.01630	118.70	109.39	946.90	1056.3	109.40	1012.8	1122.2	0.20090	1.68489	1.8858
4	152.91	0.01636	90.629	120.89	938.97	1059.9	120.90	1006.0	1126.9	0.21985	1.64225	1.8621
5	162.18	0.01641	73.525	130.17	932.53	1062.7	130.18	1000.5	1130.7	0.23488	1.60894	1.8438
6	170.00	0.01645	61.982	138.00	927.08	1065.1	138.02	995.88	1133.9	0.24739	1.58155	1.8289
8	182.81	0.01652	47.347	150.83	918.08	1068.9	150.86	988.15	1139.0	0.26757	1.53800	1.8056
10	193.16	0.01659	38.425	161.22	910.75	1072.0	161.25	981.82	1143.1	0.28362	1.50391	1.7875
14.696	211.95	0.01671	26.805	180.12	897.27	1077.4	180.16	970.12	1150.3	0.31215	1.44441	1.7566
15	212.99	0.01672	26.297	181.16	896.52	1077.7	181.21	969.47	1150.7	0.31370	1.44441	1.7549
20	227.92	0.01683	20.093	196.21	885.63	1081.8	196.27	959.93	1156.2	0.33582	1.39606	1.7319
25	240.03	0.01692	16.307	208.45	876.67	1085.1	208.52	952.03	1160.6	0.35347	1.36060	1.7141
30	250.30	0.01700	13.749	218.84	868.98	1087.8	218.93	945.21	1164.1	0.36821	1.33132	1.6995
35	259.25	0.01708	11.901	227.92	862.19	1090.1	228.03	939.16	1167.2	0.38093	1.30632	1.6872
40	267.22	0.01715	10.501	236.02	856.09	1092.1	236.14	933.69	1169.8	0.39213	1.28448	1.6766
45	274.41	0.01721	9.4028	243.34	850.52	1093.9	243.49	928.68	1172.2	0.40216	1.26506	1.6672
50	280.99	0.01727	8.5175	250.05	845.39	1095.4	250.21	924.03	1174.2	0.41125	1.24756	1.6588
55	287.05	0.01732	7.7882	256.25	840.61	1096.9	256.42	919.70	1176.1	0.41958	1.23162	1.6512
60	292.69	0.01738	7.1766	262.01	836.13	1098.1	262.20	915.61	1177.8	0.42728	1.21697	1.6442
65	297.95	0.01743	6.6560	267.41	831.90	1099.3	267.62	911.75	1179.4	0.43443	1.20341	1.6378
70	302.91	0.01748	6.2075	272.50	827.90	1100.4	272.72	908.08	1180.8	0.44112	1.19078	1.6319
75	307.59	0.01752	5.8167	277.31	824.09	1101.4	277.55	904.58	1182.1	0.44741	1.17895	1.6264
80	312.02	0.01757	5.4733	281.87	820.45	1102.3	282.13	901.22	1183.4	0.45335	1.16783	1.6212
85	316.24	0.01761	5.1689	286.22	816.97	1103.2	286.50	898.00	1184.5	0.45897	1.15732	1.6163
90	320.26	0.01765	4.8972	290.38	813.62	1104.0	290.67	894.89	1185.6	0.46431	1.14737	1.6117
95	324.11	0.01770	4.6532	294.36	810.40	1104.8	294.67	891.89	1186.6	0.46941	1.13791	1.6073
100	327.81	0.01774	4.4327	298.19	807.29	1105.5	298.51	888.99	1187.5	0.47427	1.12888	1.6032
110	334.77	0.01781	4.0410	305.41	801.37	1106.8	305.78	883.44	1189.2	0.48341	1.11201	1.5954
120	341.25	0.01789	3.7289	312.16	795.79	1107.9	312.55	878.20	1190.8	0.49187	1.09646	1.5883
130	347.32	0.01796	3.4557	318.48	790.51	1109.0	318.92	873.21	1192.1	0.49974	1.08204	1.5818
140	353.03	0.01802	3.2202	324.45	785.49	1109.9	324.92	868.45	1193.4	0.50711	1.06858	1.5757
150	358.42	0.01809	3.0150	330.11	780.69	1110.8	330.61	863.88	1194.5	0.51405	1.05595	1.5700
160	363.54	0.01815	2.8347	335.49	776.10	1111.6	336.02	859.49	1195.5	0.52061	1.04405	1.5647
170	368.41	0.01821	2.6749	340.62	771.68	1112.3	341.19	855.25	1196.4	0.52682	1.03279	1.5596
180	373.07	0.01827	2.5322	345.53	767.42	1113.0	346.14	851.16	1197.3	0.53274	1.02210	1.5548
190	377.52	0.01833	2.4040	350.24	763.31	1113.6	350.89	847.19	1198.1	0.53839	1.01191	1.5503
200	381.80	0.01839	2.2882	354.78	759.32	1114.1	355.46	843.33	1198.8	0.54379	1.00219	1.5460
250	400.97	0.01865	1.8440	375.23	741.02	1116.3	376.09	825.47	1201.6	0.56784	0.95912	1.5270
300	417.35	0.01890	1.5435	392.89	724.77	1117.7	393.94	809.41	1203.3	0.58818	0.92289	1.5111
350	431.74	0.01912	1.3263	408.55	709.98	1118.5	409.79	794.65	1204.4	0.60590	0.89143	1.4973
400	444.62	0.01934	1.1617	422.70	696.31	1119.0	424.13	780.87	1205.0	0.62168	0.86350	1.4852
450	456.31	0.01955	1.0324	435.67	683.52	1119.2	437.30	767.86	1205.2	0.63595	0.83828	1.4742
500	467.04	0.01975	0.92819	447.68	671.42	1119.1	449.51	755.48	1205.0	0.64900	0.81521	1.4642
550	476.97	0.01995	0.84228	458.90	659.91	1118.8	460.93	743.60	1204.5	0.66107	0.79388	1.4550
600	486.24	0.02014	0.77020	469.46	648.88	1118.3	471.70	732.15	1203.9	0.67231	0.77400	1.4463

Fuente: CENGEL, Yunus; BOLES, Michael. *Termodinámica*. p. 962.

### 3.2.4. Porcentaje de pérdida energética en el sistema de distribución de vapor

El vapor instantáneo no se condensa completamente dentro del tanque, por lo que sale a través de la tubería de escape del tanque de condensado. Debido a que el porcentaje de agua fresca de alimentación que se utiliza por cada libra de vapor es el mismo por no recuperar el condensado, entonces el porcentaje de pérdida energética en el sistema de distribución de vapor es de 53,1826 %, más el porcentaje de vapor instantáneo eliminado en el tanque de condensados se obtiene entonces (53,1826 % + 1,7269 %), lo que es igual a 54,9095 %.

### 3.2.5. Costo por desperdicio energético

Para determinar el costo por desperdicio energético se conoce de tabla IV, que la temperatura promedio del tanque de condensados es de 130,3524 °F. La entalpía de saturación del agua de alimentación es de 98,34 Btu/lbm. El costo de generación de vapor es de Q 129,536 /MBtu. El costo de la energía desperdiciada en el condensado no recuperado y el vapor *flash* eliminado se calcula entonces:

Energía de combustible necesaria para calentar agua a 130,35247 °F

$$= (98,34 \frac{Btu}{lbm}) / (0,857) = (114,7491 Btu/lbm)$$

Costo por desperdicio energético en tanque de condesado:

$$= \left( \frac{Q \ 129,536}{MBtu} \right) * \left( \frac{114,7491 \frac{Btu}{lbm}}{10^6} \right) * \left( \frac{5 \ 170,858299 \ lb}{h} \right) (7 \ 488 \frac{horas}{año}) (54,9095 \ %)$$

$$= \frac{Q \ 316 \ 020,8461}{año}$$

### 3.3. Distribución de vapor y retorno de condensados

A continuación se explicará la distribución de vapor y retorno de condensados.

#### 3.3.1. Tubería

La caldera suministra vapor a una presión de 115 psig. El último equipo en la red de distribución de vapor y de mayor demanda requiere para su funcionamiento una presión de vapor de 105 psig. La línea de vapor tiene una longitud de 954,39633 pies. Es necesario conducir 5 170,86 lb/h de vapor.

##### 3.3.1.1. Diámetro

Definida la presión en el lugar de utilización es posible determinar el diámetro óptimo de la tubería para conducir el vapor, de acuerdo con la siguiente relación:

$$F = \frac{(P1 - P2)}{L}$$

Donde

P1 = factor basado en la presión inicial

P2 = factor basado en la presión final

L= longitud equivalente de tubería

F= factor de caída de presión

Se asume un efecto de forma a lo largo de la tubería debido a la fricción de 10 %, tomando en cuenta la oposición al flujo por las paredes de la tubería así como de los accesorios que la integran. Al final se obtiene un largo equivalente a 1 049,83596 pies. Los factores de presión se obtienen de tabla XVI.

$$P1 (a 115 \text{ psig}) = 12\,420$$

$$P2 (a 105 \text{ psig}) = 10\,540$$

El factor de caída de presión se determina entonces por:

$$F = \frac{(12\,420 - 10\,540)}{1\,049,83596} = 1,790755953$$

Tabla XVI. Factores de presión para tubería

Cuadro 2.2

FACTORES DE PRESION PARA TUBERIA

Ina of Vacuum	Volume cu ft/lb	Pressure Factor	Pressure psig	Volume cu ft/lb	Pressure Factor	Pressure psig	Volume cu ft/lb	Pressure Factor	Pressure psig	Volume cu ft/lb	Pressure Factor
26	173.0	4	48	6.9	3040	116	3.5	12610	183	2.3	28090
24	118.0	9	49	6.8	3130	117	3.4	12900	184	2.3	28380
22	91.0	15	50	6.7	3225	118	3.4	13290	185	2.3	28650
20	74.8	22	51	6.6	3325	119	3.4	13680	186	2.3	28920
18	62.0	31	52	6.5	3425	120	3.4	14070	187	2.3	29200
16	53.0	41	53	6.4	3525	121	3.3	14460	188	2.3	29480
14	47.5	54	54	6.3	3625	122	3.3	14850	189	2.3	29770
12	43.0	67	55	6.2	3725	123	3.3	15240	190	2.3	30040
10	39.0	83	56	6.1	3825	124	3.3	15630	191	2.2	30340
9	36.8	97	57	6.1	3935	125	3.3	16020	192	2.2	30630
8	35.3	100	58	6.0	4045	126	3.2	16410	193	2.2	30910
7	34.0	110	59	5.9	4155	127	3.2	16800	194	2.2	31200
6	32.8	120	60	5.8	4265	128	3.2	17190	195	2.2	31490
5	31.6	130	61	5.8	4370	129	3.2	17580	196	2.2	31770
4	30.4	140	62	5.7	4485	130	3.1	17970	197	2.2	32070
3	29.3	150	63	5.6	4600	131	3.1	18360	198	2.2	32370
2	28.2	160	64	5.6	4720	132	3.1	18750	199	2.2	32660
1	27.3	170	65	5.5	4840	133	3.1	19140	200	2.2	32950
.5	27.0	175	66	5.4	4960	134	3.1	19530	201	2.2	33250
			67	5.4	5080	135	3.0	19920	202	2.1	33560
Pressure psig			68	5.3	5200	136	3.0	20310	203	2.1	33860
0	26.7	183	69	5.2	5320	137	3.0	20700	204	2.1	34170
1	25.1	210	70	5.2	5440	138	3.0	21090	205	2.1	34450
2	23.7	235	71	5.1	5560	139	3.0	21480	206	2.1	34760
3	22.4	265	72	5.1	5690	140	2.9	21870	207	2.1	35080
4	21.3	295	73	5.0	5820	141	2.9	22260	208	2.1	35390
5	20.3	325	74	5.0	5950	142	2.9	22650	209	2.1	35700
6	19.4	355	75	4.9	6080	143	2.9	23040	210	2.1	35990
7	18.6	390	76	4.9	6210	144	2.9	23430	211	2.1	36320
8	17.8	425	77	4.8	6350	145	2.8	23820	212	2.1	36630
9	17.1	460	78	4.8	6490	146	2.8	24210	213	2.0	36940
10	16.5	500	79	4.7	6630	147	2.8	24600	214	2.0	37260
11	15.9	540	80	4.7	6770	148	2.8	24990	215	2.0	37570
12	15.3	580	81	4.6	6910	149	2.8	25380	216	2.0	37890
13	14.8	625	82	4.6	7050	150	2.8	25770	217	2.0	38210
14	14.3	670	83	4.6	7190	151	2.8	26160	218	2.0	38550
15	13.9	715	84	4.5	7330	152	2.7	26550	219	2.0	38880
16	13.5	760	85	4.5	7470	153	2.7	26940	220	2.0	39160
17	13.1	810	86	4.4	7610	154	2.7	27330	221	2.0	39510
18	12.7	860	87	4.4	7760	155	2.7	27720	222	2.0	39830
19	12.4	910	88	4.4	7910	156	2.7	28110	223	2.0	40150
20	12.1	965	89	4.3	8060	157	2.7	28500	224	2.0	40490
21	11.7	1020	90	4.3	8210	158	2.7	28890	225	1.9	40820
22	11.4	1075	91	4.2	8360	159	2.6	29280	226	1.9	41110
23	11.1	1135	92	4.2	8510	160	2.6	29670	227	1.9	41440
24	10.8	1195	93	4.2	8660	161	2.6	30060	228	1.9	41780
25	10.6	1255	94	4.1	8820	162	2.6	30450	229	1.9	42100
26	10.4	1315	95	4.1	8980	163	2.6	30840	230	1.9	42450
27	10.1	1385	96	4.1	9140	164	2.6	31230	231	1.9	42790
28	9.9	1445	97	4.0	9300	165	2.6	31620	232	1.9	43100
29	9.7	1525	98	4.0	9460	166	2.5	32010	233	1.9	43470
30	9.5	1595	99	4.0	9620	167	2.5	32400	234	1.9	43810
31	9.3	1665	100	3.9	9790	168	2.5	32790	235	1.9	44150
32	9.1	1735	101	3.9	9960	169	2.5	33180	236	1.9	44490
33	8.9	1805	102	3.9	10130	170	2.5	33570	237	1.9	44830
34	8.7	1875	103	3.8	10300	171	2.5	33960	238	1.8	45200
35	8.6	1945	104	3.8	10470	172	2.5	34350	239	1.8	45530
36	8.4	2020	105	3.8	10640	173	2.5	34740	240	1.8	45870
37	8.2	2100	106	3.7	10810	174	2.4	35130	241	1.8	46270
38	8.1	2180	107	3.7	10980	175	2.4	35520	242	1.8	46580
39	8.0	2260	108	3.7	11155	176	2.4	35910	243	1.8	46935
40	7.8	2340	109	3.6	11335	177	2.4	36300	244	1.8	47272
41	7.7	2420	110	3.6	11515	178	2.4	36690	245	1.8	47632
42	7.6	2500	111	3.6	11695	179	2.4	37080	246	1.8	47995
43	7.4	2590	112	3.6	11875	180	2.4	37470	247	1.8	48362
44	7.3	2680	113	3.5	12055	181	2.4	37860	248	1.8	48702
45	7.2	2770	114	3.5	12235	182	2.3	38250	249	1.8	49072
46	7.1	2860	115	3.5	12420						
47	7.0	2950									

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Guatemala - CNEE. *Ahorro de energía en sistemas de vapor*. p. 34.

El factor calculado se busca en la columna F de tabla XVII, se observa que únicamente aparecen los valores 1,6 y 2, dentro de los cuales se encuentra el factor; se toma entonces el valor más cercano al que se calculó, 1,6; se sigue la fila hasta encontrar el flujo a conducir 5 170,86 lb/h. El valor próximo más cercano es de 7 100 lb/h. Se busca el valor que identifica la columna del flujo, determinando que el diámetro óptimo de la tubería es de 4 pulgadas.

Tabla XVII. Capacidad de tubería y factores de caída de presión

Cuadro 2.3  
CAPACIDAD DE TUBERIA Y FACTORES DE CAIDA DE PRESION

F	Pipes Sizes																
	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	6"	8"	10"	12"				
0.008						82	113	185	408	715	1270	1815	2600	3580	4750	6150	7750
0.010						8	9	10	12	16	20	25	30	35	40	45	50
0.013						33	70	128	210	460	830	1350	2050	2910	4010	5350	6930
0.016						8	8	10	12	14	18	20	22	24	26	28	30
0.020						23	38	61	147	240	530	955	1560	2350	3150	4050	5100
0.025						8	9	10	12	14	18	20	22	24	26	28	30
0.030						26	42	91	165	270	580	1070	1750	2630	3770	5200	6900
0.035						8	10	11	14	16	18	22	24	26	30	33	35
0.040						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
0.050						18	29	48	102	187	303	665	1210	1970	2980	4250	5670
0.060						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
0.070						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
0.080						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
0.10						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
0.13						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
0.16						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
0.20						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
0.25						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
0.30						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
0.35						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
0.40						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
0.50						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
0.60						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
0.70						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
0.80						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
1.00						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
1.3						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
1.6						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
2.0						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
2.5						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
3.0						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
3.5						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
4.0						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
5.0						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
6.0						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
7.0						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
8.0						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
10.0						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
13.0						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
16.0						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
20.0						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
25.0						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
30.0						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
35.0						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
40.0						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
50.0						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35
60.0						8	10	10	12	18	18	20	24	26	30	33	35

X = capacidad, lb/h  
Y = velocidad con volumen de 10 pies<sup>3</sup>/lb, pies/s

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Guatemala - CNEE. *Ahorro de energía en sistemas de vapor*. p. 35.

Para la determinación del tamaño adecuado de la tubería de retorno de condensado, se conoce con anterioridad que el consumo de vapor es de 5 170,86 lb/h, a una presión de generación de 115 psig. Se hace referencia a tabla XVIII, se busca la presión a la cual se suministra el vapor y la presión del tanque abierto de condensados 12,3755 psi (dato para la ciudad de Guatemala, Insivumeh). El valor próximo al consumo de vapor es de 5 795 lb/h. La lectura indica que el tamaño para la tubería de retorno de condensados debería ser de 2 ½ pulgada.

Tabla XVIII. **Capacidad de la línea de retorno en libra por hora con una caída de presión en psi para 100 pies de tubería a velocidad de 5 000 pies/min**

CUADRO 8

CAPACIDAD DE LA LINEA DE RETORNO EN lb/h CON UNA CAIDA DE PRESION EN PSI PARA 100 PIES DE TUBERIA A VELOCIDAD DE 5 000 pies/min

Pres. Sum. RECV. psig	5			15			30			60			100			250					
	0	5	10	0	5	10	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20	25	30	35	40	
1.2	425	590	1535	360	640	1055	235	370	525	1010	180	270	370	810	955	115	165	215	325	450	590
2.45	235	1025	2340	835	1125	1815	415	650	940	1700	310	470	645	1085	1675	200	285	375	535	795	1135
4.04	180	3790	1030	1820	3005	810	1055	1570	2465	505	765	1045	1755	2715	375	465	620	875	1285	1785	2415
7.00	2905	6565	1700	3150	5200	1155	1830	2635	4060	875	1320	1810	3235	4695	560	800	1050	1600	2225	3075	4135
9.50	3955	8935	2425	4290	7080	1575	2490	3585	5750	1190	1795	2465	4175	6195	760	1090	1430	2175	3075	4260	5800
15.50	6575	14725	3995	7070	11670	2585	4105	5910	11125	1965	2960	4050	6870	10540	1255	1800	2355	3485	4990	6775	9335
22.45	9305	21095	5700	10085	16650	3705	5855	8430	15875	2900	4225	5795	9720	15035	1790	2585	3360	5115	7120	11900	16500
34.80	14370	32435	8800	15570	25710	5720	9045	13020	24515	4325	6525	8950	15005	23270	2765	3965	5185	7900	10900	16430	23130
48.25	19220	43380	11765	20825	34385	7650	12095	17410	32785	5785	8725	11970	21070	31760	3695	5300	6940	10265	14770	20475	28475
65.95	24745	55855	15150	26815	44275	9950	15575	22415	42710	7450	11235	15410	25840	39980	4760	6825	8935	13400	18675	26175	37170
88.00	30880	67785	19810	34240	53580	12940	19475	28230	53335	11725	17660	24720	40610	62630	7475	10725	14130	21170	29445	40960	57460
115.50	38160	82760	24385	42855	66480	16750	25345	36975	69385	15005	22500	30975	50975	80735	9800	14190	18770	27670	38265	52760	73170
158.00	47245	104765	30540	53780	83995	21705	32625	47595	89885	19170	28160	38045	62965	95835	11600	16800	22520	33520	46340	63960	88160
216.00	58725	129765	38140	66780	107995	27705	41725	60885	113880	24170	35160	48045	79165	119135	14600	20800	28120	41540	57460	79160	108660

TAMARO DE TUBERIA EN PULGADAS  
TUBERIA 40

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Guatemala - CNEE. *Ahorro de energía en sistemas de vapor*. p. 213.

### 3.3.1.2. Aislante térmico

La importancia del aislamiento térmico en la red de distribución radica en que pueda mantener la temperatura del sistema, de tal forma que es posible controlar la condensación en la tubería, optimizando el uso de la energía; por último el rol especial que cumple como protección para el personal forma parte importante de la seguridad industrial, reduciendo las condiciones inseguras en planta.

Para el cálculo de la energía perdida debido a la tubería de distribución de vapor sin material aislante se conoce que, el diámetro es de 4 pulgadas y la longitud sin aislar de 196,194232 pies, a la presión que fluye el vapor se determina por tablas de vapor que a 115 psig, la temperatura es de 347 °F. Para una tubería de 4 pulgadas el diámetro exterior es igual a 4 ½ pulgadas; asimismo el área superficial externa es de  $1,178 \frac{\text{Pie}^2}{\text{Pie lineal}}$ . Es posible obtener entonces el diferencial de temperatura, aproximadamente 347 °F menos 80 °F (temperatura del aire del ambiente) dando como resultado 267 °F.

Luego en la tabla XX pueden observarse las pérdidas de calor en tuberías de acero y en superficies planas; para el diámetro de 4 pulgadas y diferencial de temperatura de 267 °F se obtiene:

$$\begin{aligned} \text{Pérdida de energía} &= 3,12 \frac{\text{Btu}}{\text{Hora pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}} \\ \text{Pérdida de energía} \frac{\text{Btu}}{\text{Hora pie}} &= \frac{3,12 \text{ Btu}}{\text{Hora pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}} * \frac{1,178 \text{ Pie}^2}{\text{Pie lineal}} * (347 - 80) \text{ } ^\circ\text{F} \\ \text{Pérdida de energía} \frac{\text{Btu}}{\text{Hora pie}} &= \frac{981,32112 \text{ Btu}}{\text{Hora pie}} \end{aligned}$$

La energía que se pierde por año se calcula, entonces:

$$\text{Energía perdida por año} = \frac{981,32112 \text{ Btu}}{\text{Hora pie}^2} * 196,194232 \text{ Pie} * 7\,488 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

$$\text{Energía pérdida por año} = 1441,6612 \frac{\text{MBtu}}{\text{año}}$$

El costo de la energía desperdiciada por tener la tubería de distribución de vapor sin aislar viene dado por:

$$= \left( \frac{Q\ 129,536}{\text{MBtu}} \right) * \left( 1441,6612 \frac{\text{MBtu}}{\text{año}} \right) = \frac{Q\ 186\,747,0252}{\text{año}}$$

Tabla XIX. Áreas, tamaños y capacidades de tubería estándar

**CUADRO 3.6**

**AREAS, TAMAÑOS Y CAPACIDADES DE TUBERIA ESTANDAR "NPS" (TODAS LAS DIMENSIONES Y PESOS SON NOMINALES)**

Nom. Size in.	Diameter, in.		Thickness in.	Circumference in.		Transverse areas, sq in.		External surface area sq ft/lin ft of pipe	Length of pipe contain- ing cu ft	wt of water per foot, lb
	External	Internal		External	Internal	External	Internal			
1/8	0.405	0.269	0.068	1.272	0.845	0.129	0.067	0.1060	2533.775	0.025
1/4	0.540	0.364	0.088	1.695	1.144	0.229	0.104	0.1414	1383.789	0.045
3/8	0.675	0.493	0.091	2.121	1.549	0.358	0.191	0.1767	754.360	0.083
1/2	0.840	0.622	0.109	2.639	1.954	0.554	0.304	0.220	473.906	0.132
3/4	1.050	0.824	0.113	3.299	2.589	0.866	0.533	0.275	270.034	0.231
1	1.315	1.049	0.133	4.131	3.296	1.358	0.861	0.344	166.618	0.375
1 1/4	1.660	1.380	0.140	5.215	4.335	2.164	1.495	0.435	96.275	0.65
1 1/2	1.900	1.610	0.145	5.959	5.058	2.835	2.036	0.498	70.733	0.88
2	2.375	2.067	0.154	7.461	6.494	4.430	3.355	0.622	42.913	1.45
2 1/2	2.875	2.469	0.203	9.032	7.757	6.492	4.788	0.753	30.077	2.07
3	3.500	3.068	0.216	10.996	9.638	9.621	7.393	0.917	19.479	3.20
3 1/2	4.000	3.548	0.226	12.566	11.146	12.566	9.886	1.047	14.565	4.29
4	4.500	4.028	0.237	14.137	12.648	15.904	12.730	1.178	11.312	5.50
4 1/2	5.000	4.506	0.247	15.708	14.155	19.835	15.947	1.3009	9.030	6.91
5	5.563	5.047	0.258	17.477	15.856	24.306	20.006	1.4586	7.198	8.67
6	6.625	6.065	0.280	20.813	19.054	34.472	28.891	1.7384	4.984	12.51
7	7.625	7.023	0.301	23.955	22.063	45.664	38.738	1.996	3.717	16.80
8	8.625	8.071	0.277	27.096	25.356	58.426	51.161	2.2350	2.815	22.18
8	8.625	7.981	0.322	27.096	25.073	58.426	50.027	2.2058	2.878	21.70
9	9.625	8.941	0.342	30.238	28.089	72.760	62.786	2.5220	2.294	27.20
10	10.750	10.192	0.279	33.772	32.019	90.763	81.685	2.8174	1.755	35.37
10	10.750	10.136	0.307	33.772	31.843	90.763	80.691	2.8104	1.826	34.20
10	10.750	10.020	0.366	33.772	31.479	90.763	78.855	2.8104	1.826	34.20
11	11.750	11.000	0.375	36.914	34.558	108.434	95.033	3.078	1.515	41.20
12	12.750	12.090	0.330	40.055	37.892	127.676	114.800	3.338	1.254	49.70
12	12.750	12.000	0.375	40.055	37.699	127.676	113.097	3.338	1.273	49.00

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Guatemala - CNEE. *Ahorro de energía en sistemas de vapor*. p. 95.

Tabla XX. Pérdidas de calor en tuberías de acero desnudas y en superficies plana

Cuadro 3.7

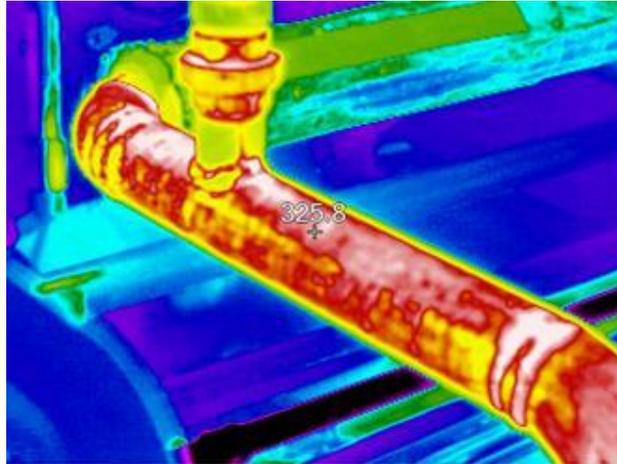
PÉRDIDAS DE CALOR EN TUBERÍAS DE ACERO DESNUDAS Y EN SUPERFICIES PLANAS (Btu/hora-pie cuadrado-grado Fahrenheit)

TAMÑO TUBERÍA LINEAL	PIES FACTOR	DIÁMETRO EXTERNO plgs	DIFERENCIA DE TEMPERATURA (GRADOS FAHRENHEIT) ENTRE SUPERFICIE DE TUBERÍA Y AIRE AMBIENTE (AIRE A 80 GRADOS FAHRENHEIT)																			
			50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
0.50	0.220	0.840	2.12	2.40	2.80	3.10	3.42	3.74	4.07	4.47	4.86	5.20	5.72	6.19	6.69	7.22	7.79	8.39	9.03	9.70	10.42	11.18
0.75	0.275	1.150	2.18	2.43	2.74	3.04	3.35	3.67	4.00	4.40	4.79	5.21	5.65	6.12	6.61	7.15	7.71	8.31	8.95	9.62	10.34	11.09
1.00	0.344	1.315	2.04	2.30	2.69	2.99	3.30	3.61	3.94	4.33	4.72	5.14	5.58	6.05	6.54	7.07	7.64	8.23	8.87	9.55	10.26	11.02
1.25	0.435	1.660	2.00	2.34	2.64	2.93	3.24	3.55	3.88	4.27	4.66	5.07	5.51	5.97	6.47	7.00	7.56	8.16	8.79	9.47	10.18	10.93
1.50	0.497	1.910	1.98	2.31	2.61	2.90	3.20	3.52	3.84	4.23	4.62	5.03	5.47	5.93	6.43	6.96	7.52	8.12	8.75	9.43	10.14	10.89
2.00	0.622	2.375	1.95	2.27	2.56	2.85	3.15	3.46	3.78	4.17	4.56	4.97	5.41	5.87	6.37	6.89	7.45	8.05	8.69	9.36	10.07	10.82
2.50	0.753	2.875	1.92	2.23	2.52	2.81	3.11	3.42	3.74	4.12	4.51	4.92	5.36	5.82	6.31	6.84	7.40	7.99	8.63	9.31	10.01	10.77
3.00	0.916	3.510	1.89	2.20	2.49	2.77	3.07	3.37	3.69	4.08	4.46	4.87	5.31	5.77	6.26	6.79	7.35	7.94	8.57	9.25	9.96	10.71
3.50	1.047	4.010	1.87	2.18	2.46	2.74	3.04	3.34	3.66	4.05	4.43	4.84	5.27	5.73	6.23	6.75	7.31	7.91	8.54	9.21	9.92	10.67
4.00	1.170	4.510	1.85	2.16	2.44	2.72	3.01	3.32	3.64	4.02	4.40	4.81	5.25	5.71	6.20	6.72	7.28	7.87	8.51	9.18	9.89	10.64
4.50	1.309	5.010	1.84	2.14	2.42	2.70	2.99	3.30	3.61	4.00	4.38	4.79	5.22	5.68	6.17	6.69	7.25	7.85	8.48	9.15	9.86	10.61
5.00	1.456	5.563	1.83	2.13	2.40	2.68	2.97	3.28	3.59	3.97	4.35	4.76	5.20	5.65	6.15	6.68	7.23	7.82	8.45	9.12	9.83	10.58
6.00	1.734	6.625	1.80	2.10	2.37	2.65	2.94	3.24	3.55	3.94	4.32	4.72	5.16	5.61	6.10	6.63	7.19	7.78	8.41	9.08	9.79	10.54
7.00	1.956	7.625	1.79	2.08	2.35	2.63	2.91	3.21	3.53	3.91	4.29	4.69	5.13	5.58	6.07	6.60	7.15	7.75	8.38	9.05	9.76	10.51
8.00	2.250	8.625	1.77	2.06	2.33	2.61	2.89	3.19	3.50	3.88	4.26	4.67	5.10	5.56	6.05	6.57	7.12	7.72	8.35	9.02	9.73	10.48
9.00	2.520	9.625	1.76	2.05	2.31	2.59	2.87	3.17	3.48	3.86	4.24	4.65	5.08	5.53	6.02	6.54	7.10	7.69	8.32	8.99	9.70	10.45
10.00	2.814	10.250	1.75	2.03	2.30	2.57	2.85	3.15	3.46	3.84	4.22	4.62	5.05	5.51	6.00	6.52	7.08	7.67	8.30	8.97	9.68	10.43
12.00	3.310	12.750	1.73	2.01	2.27	2.54	2.83	3.12	3.43	3.81	4.19	4.59	5.02	5.48	5.96	6.48	7.04	7.63	8.26	8.93	9.64	10.39
14.00	3.665	14.400	1.72	2.00	2.26	2.53	2.81	3.11	3.41	3.79	4.17	4.57	5.00	5.46	5.94	6.47	7.02	7.61	8.24	8.91	9.62	10.37
16.00	4.189	16.000	1.70	1.98	2.24	2.51	2.79	3.08	3.39	3.77	4.14	4.55	4.98	5.43	5.92	6.44	6.99	7.59	8.21	8.88	9.59	10.34
18.00	4.717	18.000	1.69	1.96	2.22	2.49	2.77	3.07	3.37	3.75	4.12	4.53	4.96	5.41	5.89	6.42	6.97	7.56	8.18	8.86	9.57	10.32
20.00	5.216	20.000	1.68	1.95	2.21	2.47	2.75	3.05	3.35	3.73	4.11	4.51	4.94	5.39	5.88	6.40	6.95	7.54	8.17	8.84	9.55	10.29
24.00	6.283	24.000	1.66	1.93	2.19	2.45	2.73	3.02	3.33	3.70	4.07	4.48	4.90	5.36	5.84	6.36	6.92	7.51	8.14	8.80	9.51	10.26
SUPERFICIE VERTICAL			1.84	2.14	2.42	2.70	3.00	3.30	3.62	4.00	4.38	4.79	5.22	5.68	6.17	6.70	7.26	7.85	8.48	9.15	9.86	10.62
SUPERFICIE HORIZONTAL, TRANSFERENCIA HACIA ABAJO			2.03	2.37	2.67	2.97	3.28	3.59	3.92	4.31	4.70	5.12	5.56	6.02	6.52	7.05	7.61	8.21	8.85	9.52	10.24	10.99
SUPERFICIE HORIZONTAL, TRANSFERENCIA HACIA ARRIBA			1.61	1.85	2.11	2.36	2.64	2.93	3.23	3.60	3.97	4.37	4.80	5.25	5.73	6.25	6.80	7.39	8.02	8.69	9.39	10.14

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Guatemala - CNEE. *Ahorro de energía en sistemas de vapor*. p. 102.

Para el cálculo de la energía perdida debido a la tubería de retorno de condensados sin material aislante se conoce que, el diámetro es de 2 pulgadas y la longitud sin aislar de 210,958012 pie, la temperatura exterior de la tubería es de 325,8 °F, temperatura máxima obtenida por la imagen termográfica de la tubería desnuda, (ver figura 57).

Figura 57. Tubería de retorno de condensados, sin material aislante



Fuente: experimentos en Empresa de Alimentos.

Del cuadro 3.6 para una tubería de 2 pulgadas el diámetro exterior es igual a 2,375 pulgadas, así mismo el área superficial externa es de  $0,622 \frac{\text{Pie}^2}{\text{Pie lineal}}$ . Es posible obtener entonces el diferencial de temperatura, aproximadamente 325 °F menos 80 °F (temperatura del aire del ambiente) dando como resultado 245 °F. Luego de tabla XX, se obtienen las pérdidas de calor en tuberías de acero y en superficies planas, para el diámetro de 2 pulgadas y diferencial de temperatura de 245 °F se obtiene:

$$\text{Pérdida de energía} = 3,15 \frac{\text{Btu}}{\text{Hora pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

$$\text{Pérdida de energía} \frac{\text{Btu}}{\text{Hora pie}} = \frac{3,15 \text{ Btu}}{\text{Hora pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}} * \frac{0,622 \text{ Pie}^2}{\text{Pie lineal}} * (325 - 80) ^\circ\text{F}$$

$$\text{Pérdida de energía} \frac{\text{Btu}}{\text{Hora pie}} = \frac{480,0285 \text{ Btu}}{\text{Hora pie}}$$

La energía que se pierde por año se calcula, entonces:

$$\text{Energía pérdida por año} = \frac{480,0285 \text{ Btu}}{\text{hora Pie}} * 210,958012 \text{ Pie} * 7\,488 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

$$\text{Energía pérdida por año} = 758,2787 \frac{\text{MBtu}}{\text{año}}$$

El costo de la energía desperdiciada por tener la tubería de retorno de condensados sin aislar viene dado por:

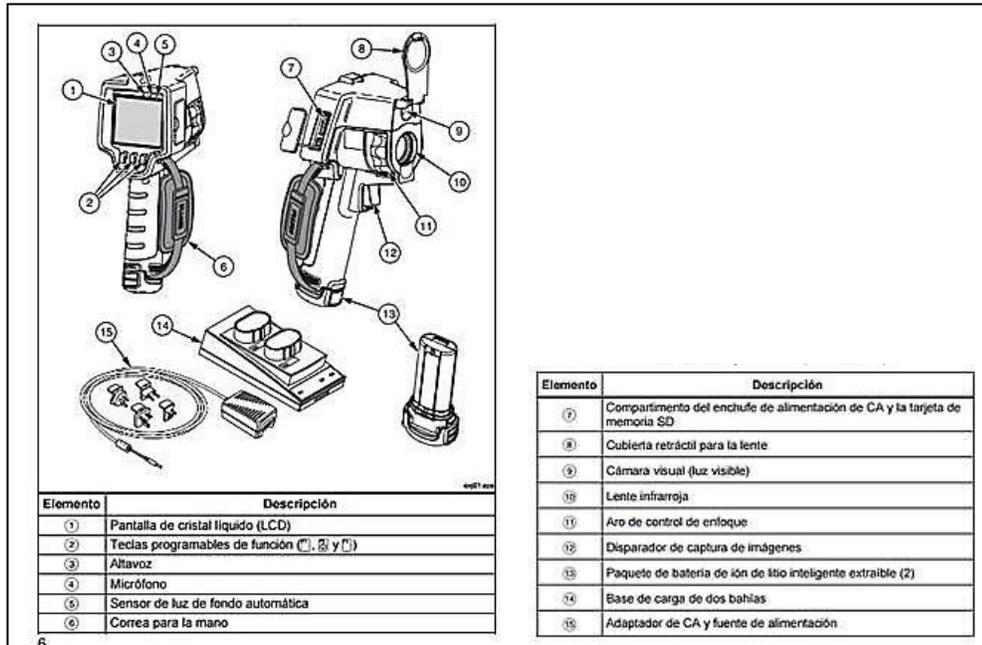
$$= \left( \frac{Q\,129,536}{\text{MBtu}} \right) * \left( 758,2787 \frac{\text{MBtu}}{\text{año}} \right) = \frac{Q\,98\,224,39554}{\text{año}}$$

### 3.3.2. Fugas de vapor

El correcto funcionamiento de los elementos en las instalaciones de la red permite que el vapor sea utilizado de forma eficiente. Para el chequeo y posterior estudio de los elementos se vale principalmente del uso de la cámara termográfica *Ti32\_9HZ* marca Fluke, con la que se obtuvieron imágenes en infrarrojo, ideales para la realización de auditoría energética.

Además se utilizó el software SmartView que permite analizar la radiometría de las temperaturas y generar informes en computadora con el mayor detalle que se requiera; otras herramientas permiten la reproducción de grabaciones de voz luego de tomar la fotografía para una rápida identificación, anotaciones en las imágenes, correcciones de emisividad, fecha y hora, nivel de alcance, escala de temperatura, entre otras. Las funciones y controles de la cámara de termografía utilizada se muestran y describen en la figura 58.

Figura 58. Funciones y controles cámara termográfica



Fuente: Manual FLUKE Ti32 cámara termográfica portátil uso industrial. p. 16.

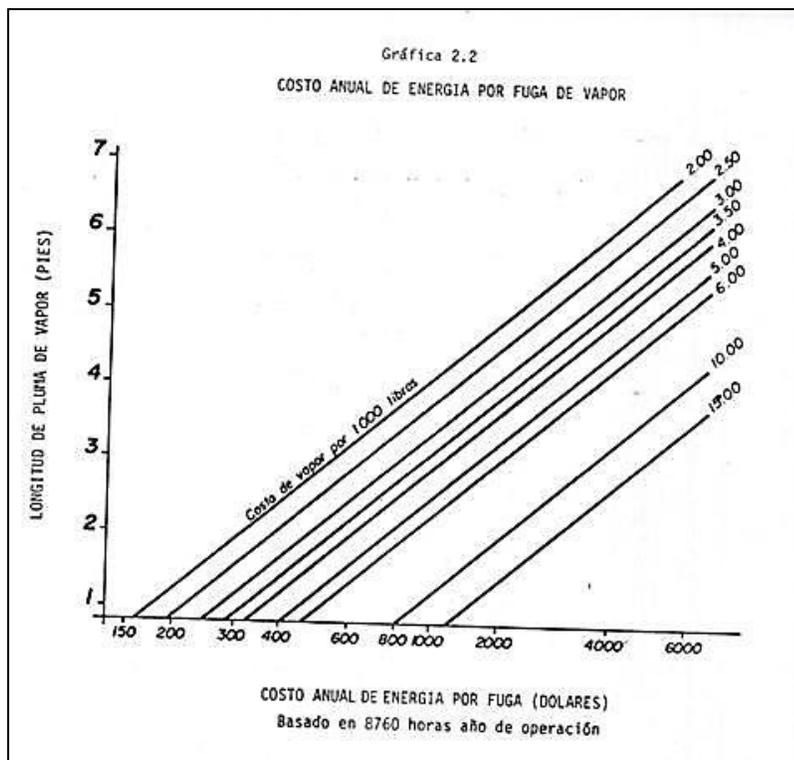
Cualquier objeto irradia en mayor o menor grado dependiendo de sus condiciones energía infrarroja. Dependiendo principalmente de la temperatura de la superficie del objeto y la emisividad de la misma. De esa forma se determinan las temperaturas.

### 3.3.2.1. Vapor vivo

Existe desperdicio significativo de energía a través de fugas en componentes que dejan escapar el vapor vivo, especialmente en uniones de tuberías, bridas, acoples, y algunos otros componentes del sistema. Con la ayuda del gráfico de la figura 60 es posible realizar la aproximación del costo de las pérdidas por fugas de vapor vivo en el sistema; el costo se determina de manera anual.

Para los cálculos correspondientes se determinó la longitud de la pluma de vapor, la que se obtiene de manera experimental como la distancia aproximada a la que el vapor se condensa en la mano. En el gráfico de la figura 59, el valor de la pluma se localiza en el eje de las ordenadas; ya localizado se mueve hacia la derecha, buscando el valor que corresponda a la curva del costo de vapor por 1 000 libras, justo en la intersección se mueve hacia abajo, obteniendo en el eje de abscisas el costo anual de energía. Es necesario resaltar que el costo anual de energía por fuga está dado en dólares y el mismo está basado en 8 760 horas de operación, por lo que es necesario realizar las conversiones necesarias.

Figura 59. **Costo anual de energía por fuga de vapor**



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Guatemala - CNEE. *Ahorro de energía en sistema de vapor*. p. 63.

Tabla XXI. Costo por fugas de vapor vivo

Planta	Referencia	Ubicación	Horas de operación anuales	Costo por 1000 lb de vapor	Longitud de pluma de fuga (Pies)	Costo anual por fuga en dolares (\$) 8760 horas/año	Costo Real De Fuga (\$) 7,488 horas/año	Costo Real De Fuga (Q) 7,488 horas/año
Cuarto de calderas	Cuarto de calderas	Brida de conexión válvula principal distribución a planta 3	7488 horas/año	\$21,2296/1000lb vapor	3	5200		
Cuarto de calderas	Cuarto de calderas	Brida medidor de flujo a cabezal de distribución principal	7488 horas/año	\$21,2296/1000lb vapor	3	5200		
Planta 1	Nivel 1	Brida línea de distribución principal	7488 horas/año	\$21,2296/1000lb vapor	3	5200		
Planta 1	Nivel 5	Válvula reguladora en acondicionador	7488 horas/año	\$21,2296/1000lb vapor	2	3100		
Planta 2	LíneaCalentamientoDeAceite	Entrada principal a intercambiador de calor a línea aceite	7488 horas/año	\$21,2296/1000lb vapor	2	3100		
Planta 3	Producto Terminado	Brida de línea de distribución principal	7488 horas/año	\$21,2296/1000lb vapor	3	5200		
Planta 3	Buhler 1	Brida válvula reguladora a extrusor	7488 horas/año	\$21,2296/1000lb vapor	1	1600		
Planta 3	Buhler 3	Válvula de alivio defectuosa tanque de cocción	7488 horas/año	\$21,2296/1000lb vapor	2	3100		
Planta 3	Buhler 3	Derivación tubería colgante a ollas válvula defectuosa	7488 horas/año	\$21,2296/1000lb vapor	3	5200		
Total Costo Anual (\$)						36900	31575.61644	245410.7431

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

Figura 60. Brida de conexión válvula principal, distribución a planta 3



Fuente: Empresa de Alimentos.

Figura 61. **Brida medidor de flujo a cabezal de distribución principal**



Fuente: Empresa de Alimentos.

Figura 62. **Brida de línea de distribución principal**



Fuente: Empresa de Alimentos.

Figura 63. **Válvula reguladora en acondicionador**



Fuente: Empresa de Alimentos.

Figura 64. **Brida de línea de distribución principal**



Fuente: Empresa de Alimentos.

Figura 65. **Entrada principal a intercambiador de calor a línea aceite**



Fuente: Empresa de Alimentos.

Figura 66. **Brida válvula reguladora a extrusor**



Fuente: Empresa de Alimentos.

Figura 67. **Válvula de alivio defectuosa tanque de cocción**



Fuente: Empresa de Alimentos.

Figura 68. **Derivación tubería colgante a ollas válvula defectuosa**



Fuente: Empresa de Alimentos.

### 3.3.2.2. Vapor *flash*

A continuación se explicará el vapor *flash*.

Tabla XXII. **Costo fugas de vapor *flash***

Planta	Referencia	Ubicación	Horas de operación anuales	Costo por 1000 lb de vapor	Longitud de pluma de fuga (Pies)	Costo anual por fuga en dolares (\$) 8760 horas/año	Costo Real De Fuga (\$) 7,488 horas/año	Costo Real De Fuga (Q) 7,488 horas/año
Planta 1	Nivel 5	Hojuelador	7488 horas/año	\$21,2296/1000lb vapor	4	6 000		
Planta 1	Nivel 6	Extruder 2 a Cabeza	7488 horas/año	\$21,2296/1000lb vapor	3	5 200		
Planta 3	Línea De Distribución Prínicipal	Colector Estación De Bombeo	7488 horas/año	\$21,2296/1000lb vapor	2	3 100		
Total Costo Anual (\$)						14 300	12223,56164	95003,47687

Fuente: elaboración propia.

El desperdicio de energía por vapor *flash* en el sistema es calculado de igual manera que para el vapor vivo.

Figura 69. **Hojuelador**



Fuente: Empresa de Alimentos.

Figura 70. **Extruder 2 a cabezal**



Fuente: Empresa de Alimentos.

Figura 71. **Colector estación de bombeo**

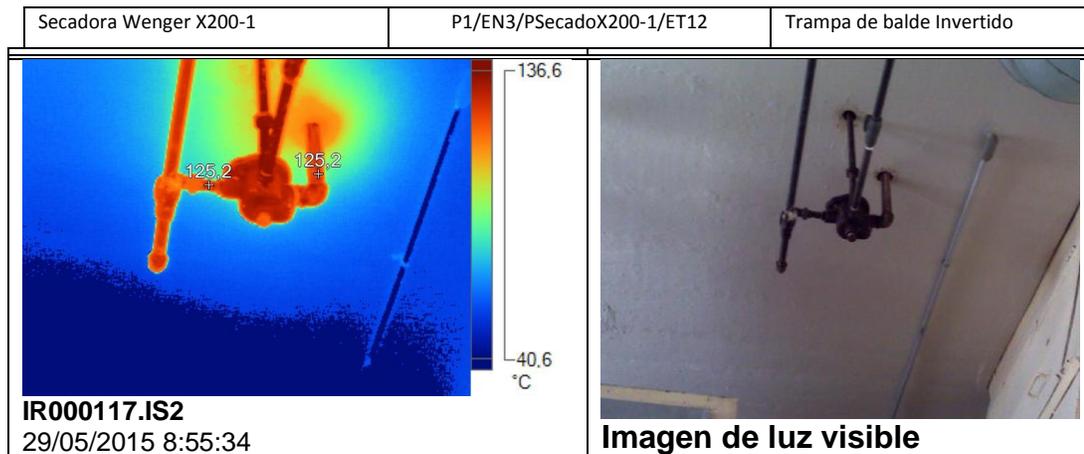


Fuente: Empresa de Alimentos.

### 3.3.3. Estaciones de trampeo

A continuación se explicarán las estaciones de trampeo.

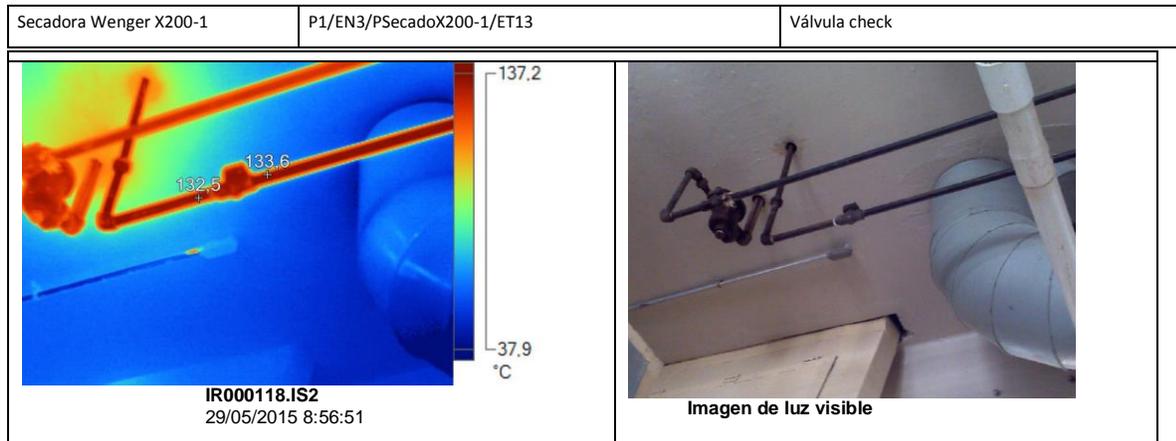
Figura 72. Trampa de balde invertido



Fuente: experimentos realizado en Empresa de Alimentos.

Observaciones: la trampa no muestra una diferencia notable de temperatura entre la entrada y la salida. A pesar de que se revisó de manera constante con termografía durante un período aproximado de 20 minutos consecutivos. La trampa está fugando vapor de forma directa a la red de condensados.

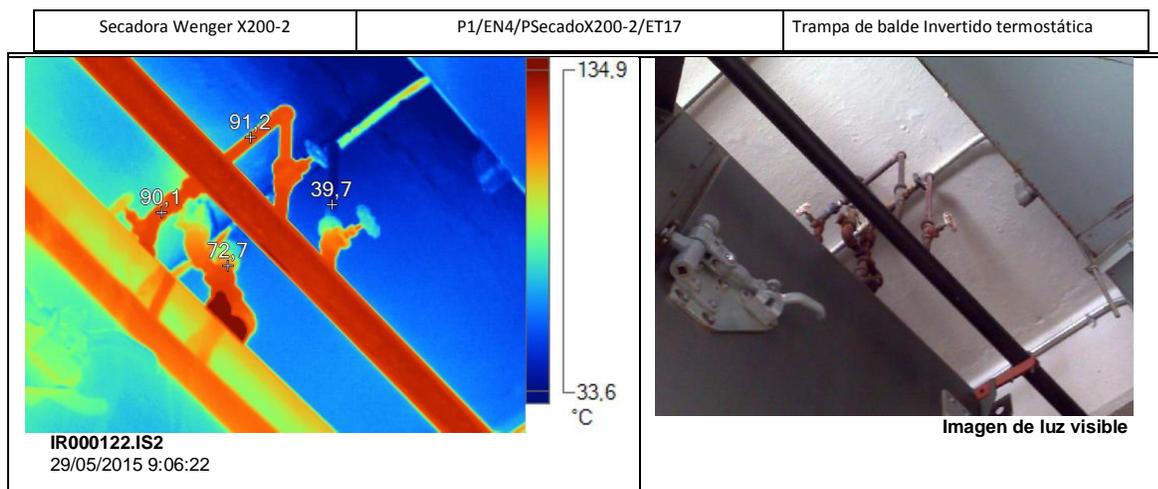
Figura 73. **Válvula check**



Fuente: experimentos realizado en Empresa de Alimentos.

Observaciones: esta línea no cuenta con una trampa de vapor, únicamente una válvula de retención, la temperatura es alta y existe la posibilidad de fuga de vapor de forma directa a la red de condensados.

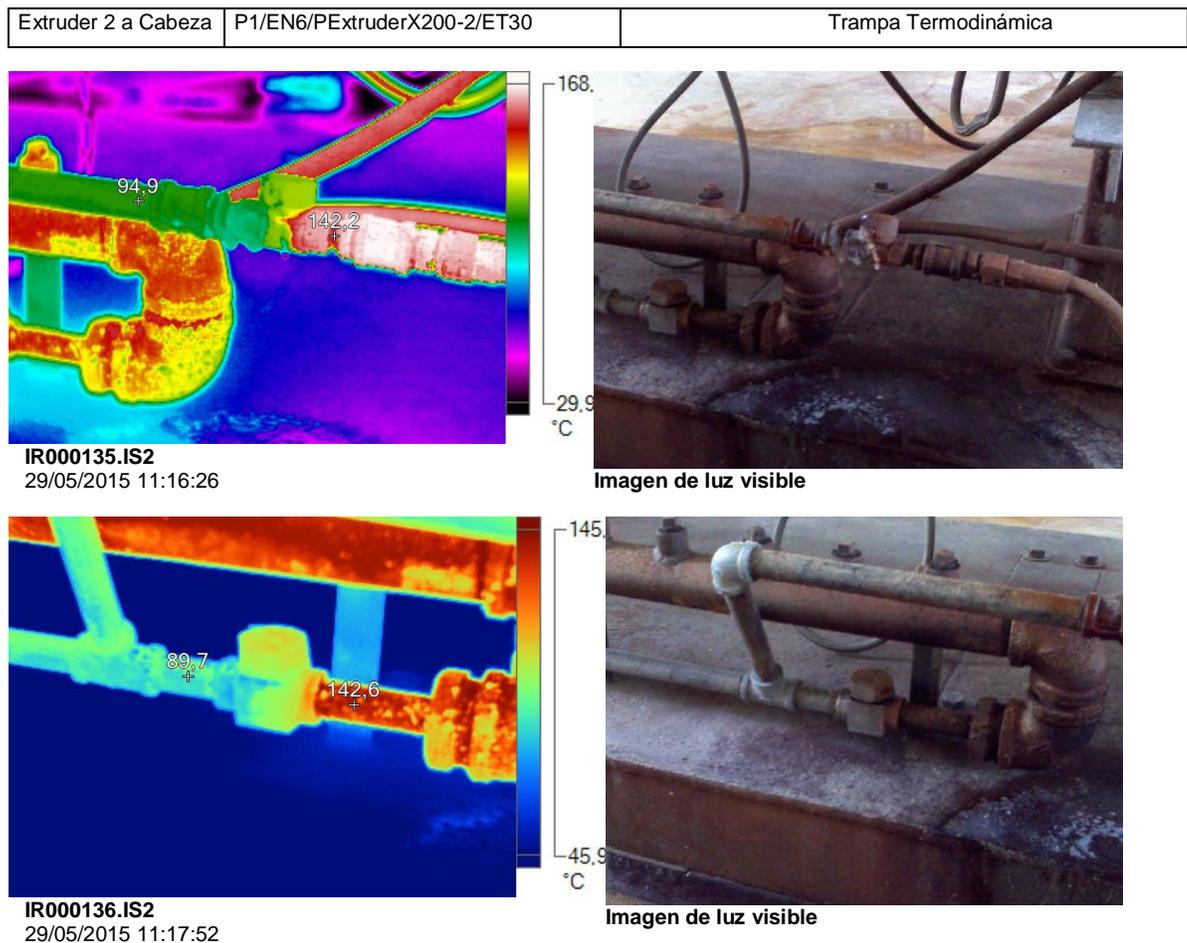
Figura 74. **Trampa de balde invertido y termostática**



Fuente: experimentos realizado en Empresa de Alimentos.

Observaciones: se puede notar la diferencia de paso de vapor entre las dos líneas; en la línea derecha el paso está restringido pero en la izquierda se observa vapor fluyendo a la línea de condensados.

Figura 75. Termografía de trampa termodinámica

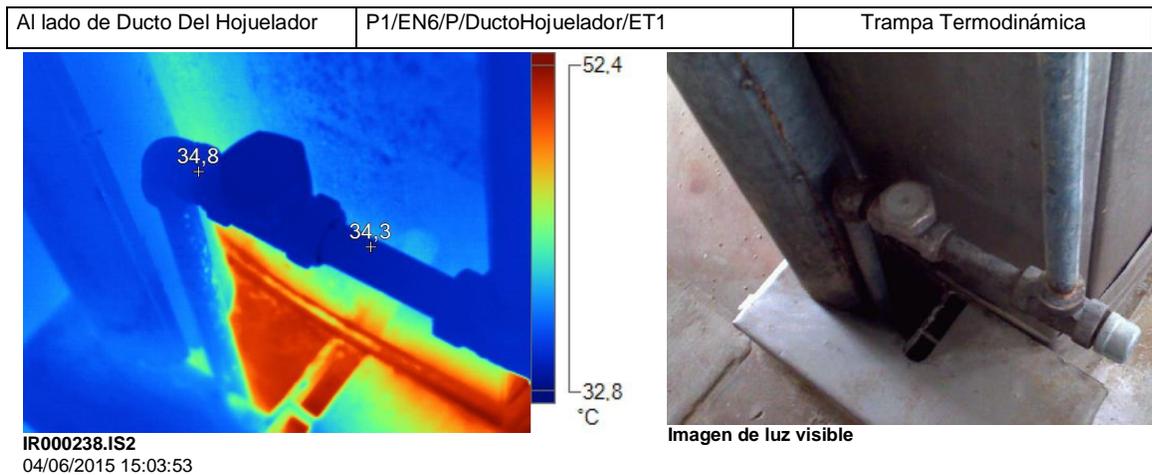


Fuente: experimentos realizado en Empresa de Alimentos.

Observaciones: con la ayuda de la termografía se pudo visualizar el flujo de vapor en una línea muerta, es decir la tubería conduce vapor pero ya no es utilizado por el equipo, sin embargo el vapor es trapeado por la trampa

termodinámica de la imagen 136.IS2, expulsando condensado a la alcantarilla sin que realice alguna transferencia de calor. Es necesario el cierre inmediato de la válvula que se encuentra al inicio de la tubería, para evitar el paso del vapor.

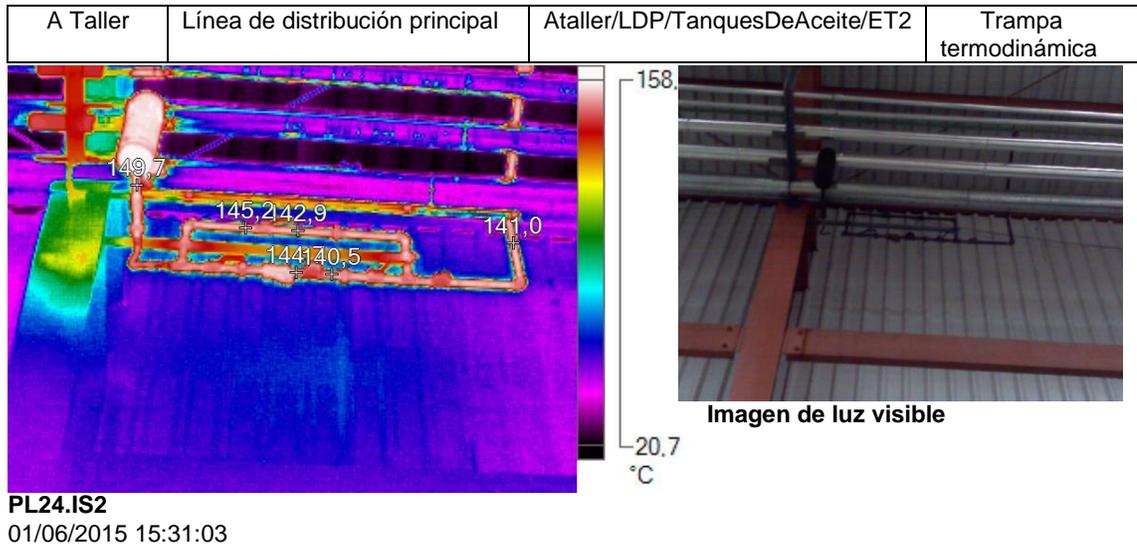
Figura 76. **Trampa termodinámica a)**



Fuente: experimentos realizado en Empresa de Alimentos.

Observaciones: la trampa funciona de manera correcta, el problema es que la descarga de condensado es expulsada al ambiente exterior, y debido a las diferencias de presión, se forman grandes cantidades de vapor *flash*; y además está fugando vapor vivo. Es necesario conectar la descarga de la trampa a la tubería de retorno de condensados para evitar expulsarlo al ambiente.

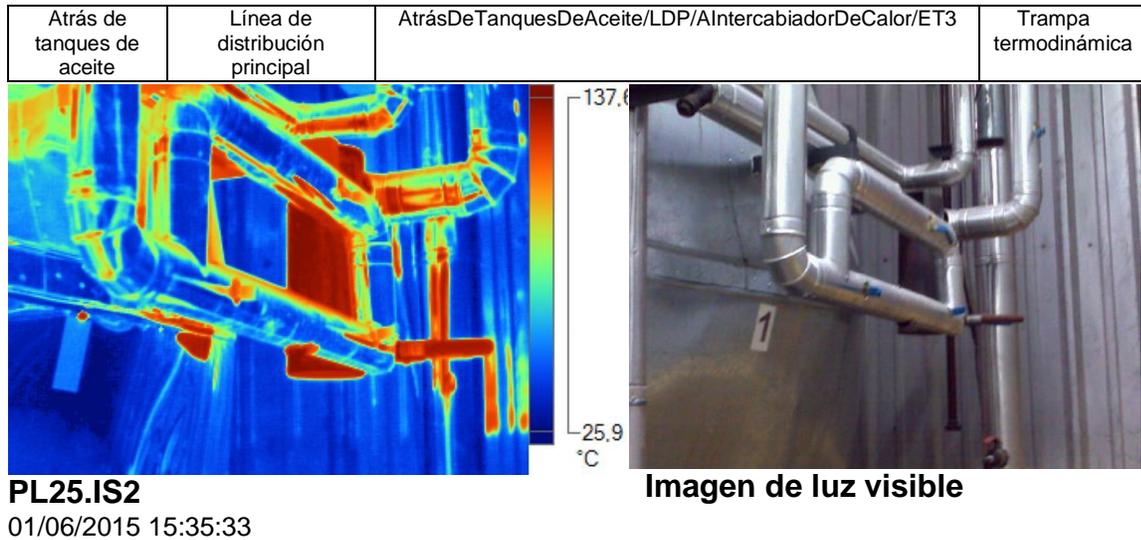
Figura 77. Trampa termodinámica b)



Fuente: experimentos realizado en Empresa de Alimentos.

Observaciones: la estación de trampeo dispone de un sistema con *bypass* el cual se abre o cierra a través de una válvula de bola; de acuerdo con la termografía el flujo de vapor está directo, debido a que la válvula de bola del *bypass*, está en posición abierta, hay que resaltar la posibilidad de que este paso de vapor directo a la línea de condensados, sea la causa por la que la línea de retorno de condensados de planta 2 esté conduciendo vapor.

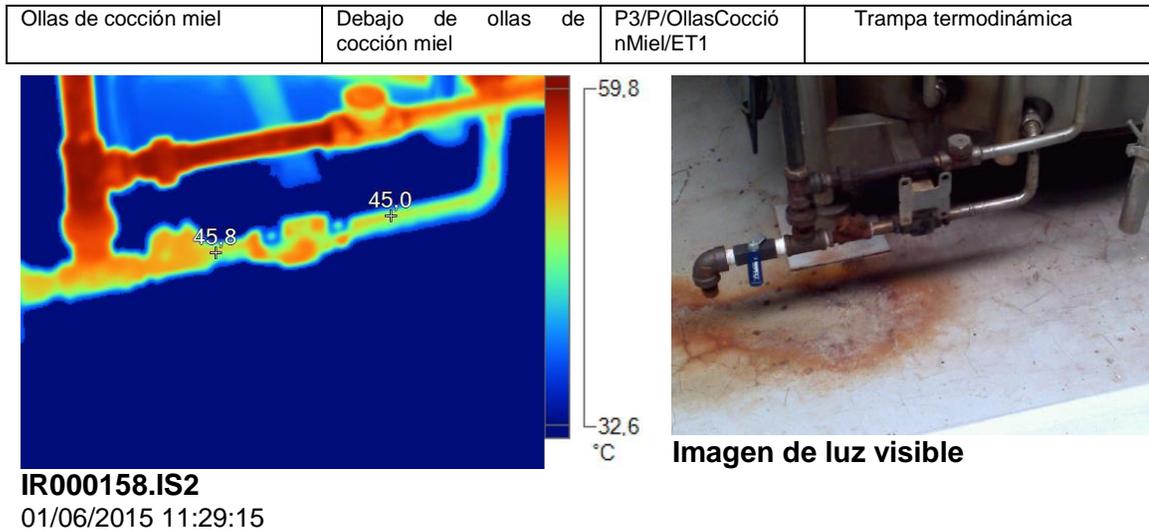
Figura 78. Trampa termodinámica c)



Fuente: experimentos realizado en Empresa de Alimentos.

Observaciones: la estación de trampeo dispone de un sistema con *bypass*, el cual se abre o cierra a través de una válvula de bola, de acuerdo con la termografía el flujo de vapor está directo, debido a que la válvula de bola del *bypass* está en posición abierta, hay que resaltar la posibilidad de que este paso de vapor directo a la línea de condensados, sea la causa por la que la línea de retorno de condensados de planta 2 esté conduciendo vapor.

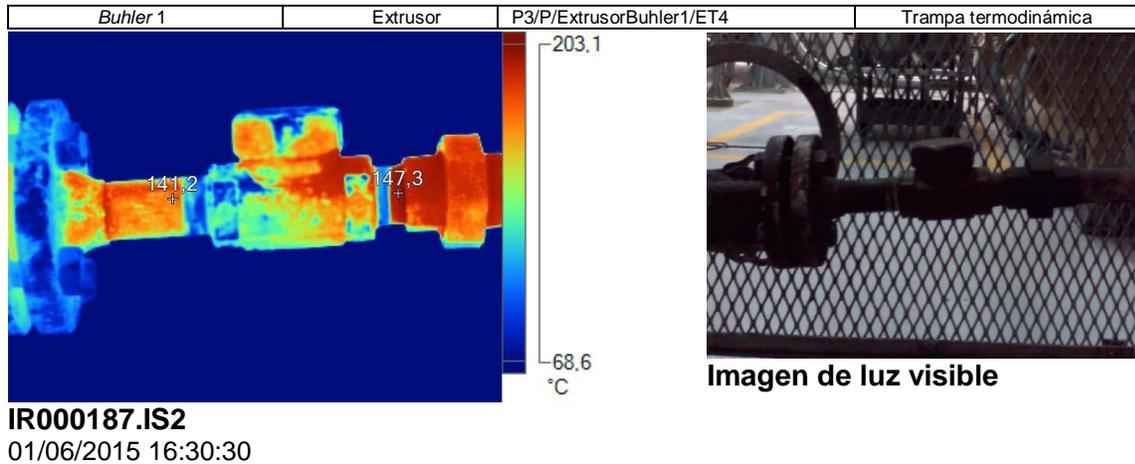
Figura 79. Trampa termodinámica d)



Fuente: experimentos realizado en Empresa de Alimentos.

Observaciones: las trampas de vapor de las ollas descargan el condensado a una tubería que se conecta con la descarga de condensados de la secadora *Buhler* 1, la termografía muestra contrapresión a la salida de la trampa, en este caso es necesaria la revisión de la línea de descarga.

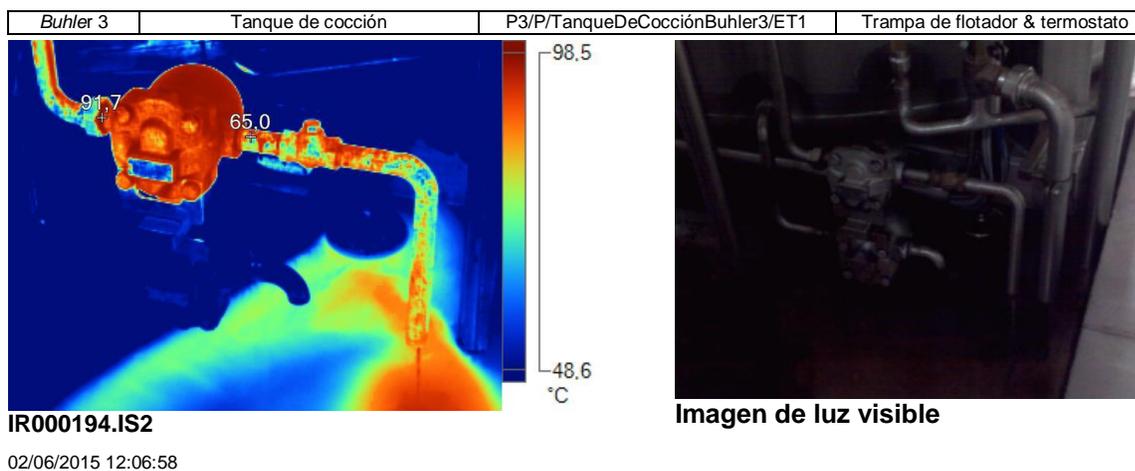
Figura 80. Trampa termodinámica e)



Fuente: experimentos realizado en Empresa de Alimentos.

Observaciones: al realizar la revisión con termografía y el análisis auditivo de la trampa, no se escucha que el disco abra o cierre de manera total; no es posible verificar un flujo definido cuando la trampa descarga, por lo que se sospecha que la trampa esté fallada abierta.

Figura 81. Trampa de flotador y termostato



Fuente: experimentos realizado en Empresa de Alimentos.

Observaciones: los tanques de cocción de *Buhler* 2 y 3 tienen sistemas de trampeo conformados por trampas de flotador y termostato; la descarga la realizan al exterior y el condensado se dirige a la alcantarilla; valdría la pena conducir los condensados a la red de recuperación de condensado.

Tabla XXIII. Total de pérdidas estaciones de trampeo

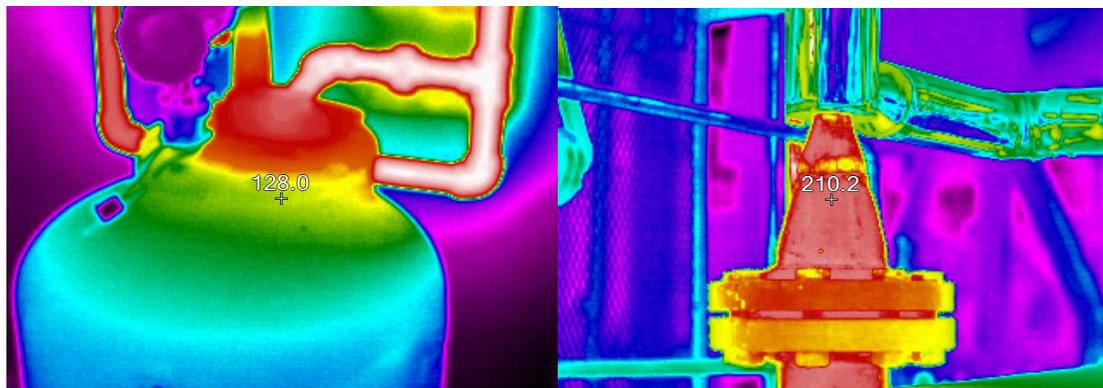
UBICACIÓN		TIPO DE TRAMPA	DIÁMETRO DEL ORIFICIO	Presión 100 psig	Pérdidas aproximadas de vapor (lb/h)
Secadora Wenger X200-1	P1/EN3/PSecadoX200-1/ET12	Trampa de Balde Invertido	1/16 Pulgada	Presión 100 psig	18
Secadora Wenger X200-1	P1/EN3/PSecadoX200-1/ET13	Válvula Check	1/16 Pulgada	Presión 100 psig	18
Secadora Wenger X200-2	P1/EN4/PSecadoX200-2/ET17	Trampa de Balde Invertido	1/16 Pulgada	Presión 100 psig	18
Secadora Wenger X200-2	P1/EN4/PSecadoX200-2/ET19	Trampa Temostática	1/16 Pulgada	Presión 100 psig	18
Extruder 2 a Cabeza	P1/EN6/PEXtruderX200-2/ET30	Trampa Temodinámica	1/16 Pulgada	Presión 100 psig	18
					18
Al lado de Ducto Del Hojuelador	P1/EN6/P/DuctoHojuelador/ET1	Trampa Temodinámica	1/16 Pulgada	Presión 100 psig	18
Línea De Distribución Principal	Aballer/LDP/TanquesDeAceite/ET2	Trampa Temodinámica	1/16 Pulgada	Presión 100 psig	18
Línea De Distribución Principal	AtrásDeTanquesDeAceite/LDP/AlintercambiadorDeCalor/ET3	Trampa Temodinámica	1/16 Pulgada	Presión 100 psig	18
Debajo de ollas de cocción miel	P3/P/OllasCocciónMiel/ET1	Trampa Temodinámica	1/16 Pulgada	Presión 100 psig	18
Extrusor	P3/P/ExtrusorBuhler1/ET4	Trampa Temodinámica	1/16 Pulgada	Presión 100 psig	18
Tanque de cocción	P3/P/TanqueDeCocciónBuhler3/ET1	Trampa de Flotador & Termostato	1/16 Pulgada	Presión 100 psig	18
<b>Total pérdidas (lb/h)</b>					<b>216</b>

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.4. Estaciones de bombeo de condensados

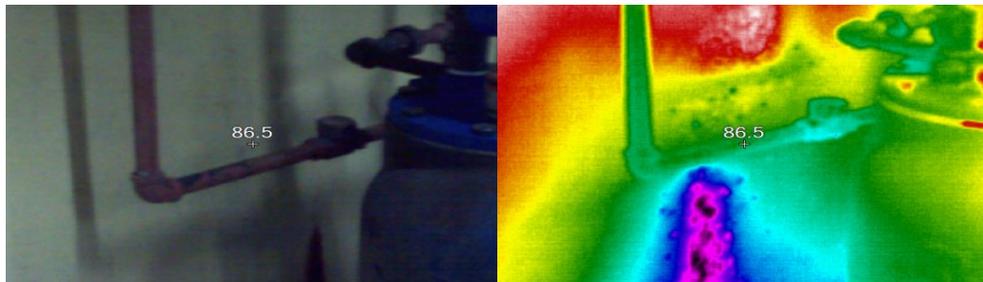
A continuación se explicará las estaciones de bombeo de condensados.

Figura 82. Termografía de estación de bombeo condensado 1



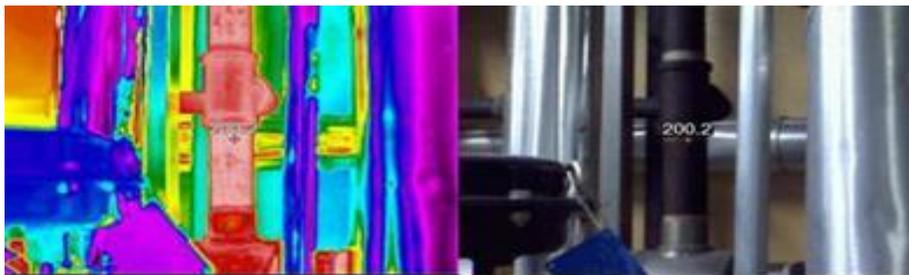
Fuente: Empresa de Alimentos.

Figura 83. **Termografía de estación de bombeo condensado 2**



Fuente: Empresa de Alimentos.

Figura 84. **Termografía de salida de estación de bombeo condensado 2**



Fuente: Empresa de Alimentos.

Tabla XXIV. **Total pérdidas de vapor en estaciones de bombeo**

UBICACIÓN		TIPO DE TRAMPA	DIÁMETRO DEL ORIFICIO	Presión 100 psig	Pérdida aproximada de vapor (lb/h)
Estación de bombeo 1	PL3/LDP/ArribaEstacionBombeo1/ET9	Trampa Termodinámica	1/8 Pulgada	Presión 100 psig	73
Estación de bombeo 2	PL3/LDP/AtrásExtrusores2y3/EB2	Trampa Termodinámica	1/8 Pulgada	Presión 100 psig	73
<b>Total de pérdida (lb/h)</b>					<b>146</b>

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo de las pérdidas aproximadas de vapor, tanto para las estaciones de trampeo, como para las estaciones de bombeo de condensados, se utiliza la figura 85.

Figura 85. **Pérdidas aproximadas de vapor a través de orificios abiertos**

Cuadro 4.10						
PERDIDAS APROXIMADAS DE VAPOR (lb/h) A VARIAS PRESIONES A TRAVES DE ORIFICIOS ABIERTOS A PRESION ATMOSFERICA						
Diámetro de orificio	Presión (psig)					
	15	30	50	100	150	200
1/16"	5	7	10	18	26	34
1/8"	19	29	41	73	105	136
3/16"	43	64	93	164	235	306
1/4"	76	114	164	291	418	545
3/8"	171	257	371	656	941	1226
1/2"	304	456	659	1165	1672	2179

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Guatemala - CNEE. *Ahorro de energía en sistemas de vapor*. p. 164.

### 3.3.5. Pérdidas aproximadas de vapor

A continuación se explicará las pérdidas aproximadas de vapor.

Tabla XXV. **Pérdidas aproximadas de vapor**

Pérdidas aproximadas de vapor		
Estaciones de trampeo	Total pérdidas (lb/h)	216
Estaciones de bombeo condensados	Total pérdidas (lb/h)	146
	<b>Total pérdidas (lb/h)</b>	<b>362</b>

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.6. Costos por desperdicio energético

$$\text{Costo del vapor producido} = \left( \frac{Q \ 129,536}{\text{MBtu}} \right) * \left( \frac{1 \ 273,815 \frac{\text{Btu}}{\text{lbm}}}{10^6} \right) = \frac{Q \ 0,165}{\text{lbm}}$$

$$\text{Costo por desperdicio energético} = \left( \frac{Q \ 0,165}{\text{lbm}} \right) \left( \frac{362 \text{lbm}}{\text{h}} \right) \left( \frac{7 \ 488 \text{horas}}{\text{año}} \right) = \frac{Q \ 447 \ 258,24}{\text{año}}$$

### 3.4. Resultados

A continuación se explicarán los resultados.

Tabla XXVI. **Desperdicio energético en red de distribución de vapor**

DESPERDICIO ENERGÉTICO RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR	
Costo por desperdicio energético en tanque de condensado	Q 316 020,8461/año
El costo de la energía desperdiciada por tener la tubería de distribución de vapor sin aislar	Q 186 747,0252/año
El costo de la energía desperdiciada por tener la tubería de retorno de condensados sin aislar	Q 98 224,39554/año
Costo de energía por fuga de vapor vivo en la red de distribución de vapor	Q245 410,7431/año
Costo de energía por fuga de vapor <i>flash</i> red de distribución de vapor	Q95 003,4768/año
Costo de pérdidas de vapor para estaciones de trapeo y bombeo de condensados (retorno de condensados)	Q447 258,24/año
<b>Total costo desperdicio energético (Q/año)</b>	<b>Q1 388 664,727/año</b>

Fuente: elaboración propia.

### 3.5. Propuesta de mejoras

A continuación se explicará la propuesta de mejoras.

#### 3.5.1. Eficiencia energética a través de la recuperación del condensado

El porcentaje de pérdida energética en el sistema de distribución de vapor es de 53,1826 %, más el porcentaje de vapor instantáneo eliminado en el tanque de condensados 1,7269 %, lo que es igual a 54,9095 %. Se propone ejecutar con carácter de urgencia todas las reparaciones de los desperfectos enlistados en tablas XXI, XXII, XXIII y XXIV. Lo que permitirá cerrar la red y

recuperar el condensado máximo posible, reduciendo el consumo de agua fresca de alimentación, así también la energía requerida por la combustión del búnker para generar vapor.

### **3.5.2. Cambio de tubería de recuperación de condensado**

El diámetro óptimo de acuerdo con el estudio de eficiencia para la tubería de distribución de vapor es de 4 pulgadas, puesto que el sistema cuenta con tubería de diámetro 4 pulgadas; en este aspecto el sistema es el adecuado.

En cuanto al diámetro de la tubería de retorno de condensados, de acuerdo con el estudio, el diámetro óptimo debería ser de 2 ½ pulgada. Debido a que la red de retorno de condensados es de 2 pulgadas de diámetro, definitivamente no es el adecuado, por lo que se sugiere cambiar la tubería al diámetro óptimo.

### **3.5.3. Aislamiento térmico a tubería**

En cuanto al aislamiento de la tubería de distribución de vapor es necesario aislar los 196,194232 pies que se encuentran sin aislar. De igual forma es necesario aislar los 210,958012 pies de la tubería de condensado sin aislar. Ver tabla XXVII. Este mejorará las condiciones dentro del área de trabajo, de manera que se reducen las condiciones inseguras, evitando la ocurrencia de accidentes laborales.

Tabla XXVII. **Desperdicio energético en tubería sin aislamiento térmico**

<b>DESPERDICIO ENERGÉTICO TUBERÍA SIN AISLAMIENTO TÉRMICO</b>	
el costo de la energía desperdiciada por tener la tubería de distribución de vapor son aislar	Q 186 747,0252/año
El costo de la energía desperdiciada por tener la tubería de retorno de condensados son aislar	Q 98224,39554/año
<b>Total ahorro (Q/año)</b>	<b>Q 248 971,4207/año</b>

Fuente: elaboración propia.

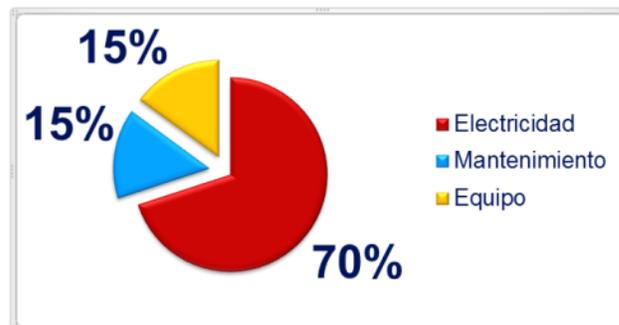
### 3.5.4. Implementación de sistema de recuperación de calor (*Kaeser Kompressoren*)

A continuación se explicará la implementación de sistema de recuperación de calor (*Kaeser Kompressoren*).

#### 3.5.4.1. Costos asociados a la generación de aire comprimido

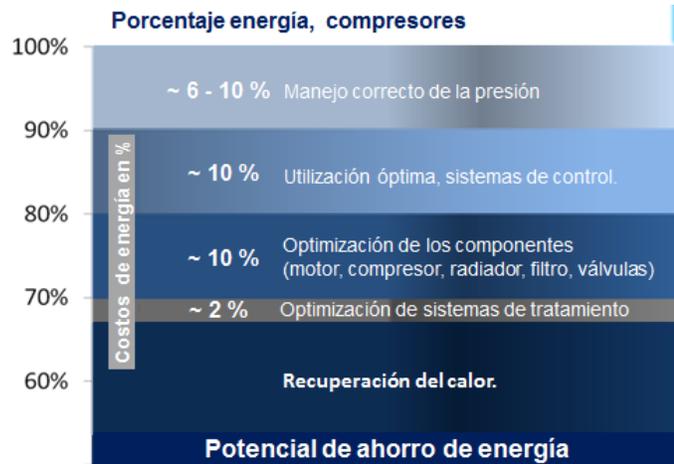
En la figura 86 se explicará los costos asociados a la generación de aire comprimido.

Figura 86. **Gráfico de costos por generación de aire comprimido**



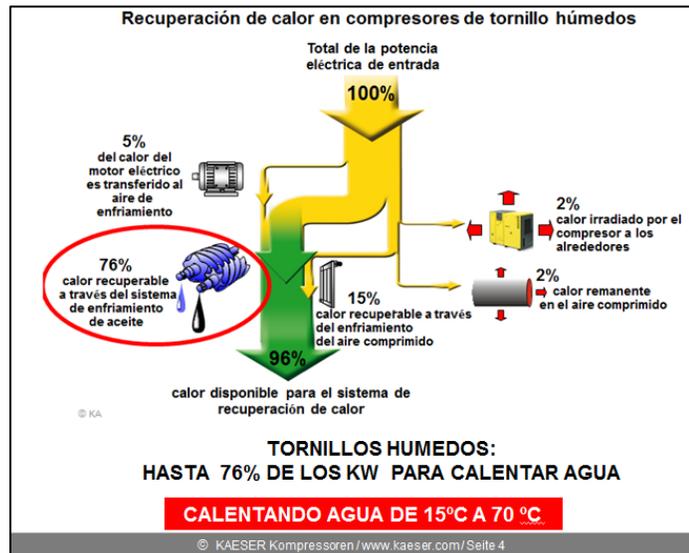
Fuente: Kaeser Kompressoren. [www.kaeser.com](http://www.kaeser.com). Consulta: octubre de 2015.

Figura 87. **Porcentaje de energía en compresores**



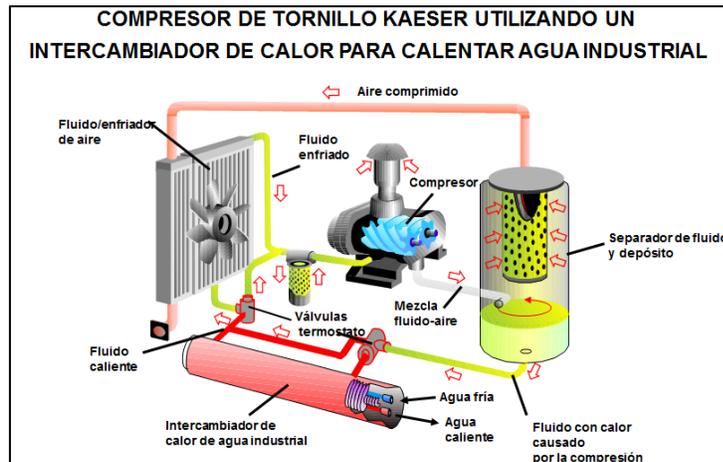
Fuente: Kaeser Kompressoren. www.kaeser.com. Consulta: octubre de 2015.

Figura 88. **Recuperación de calor en compresores de tornillo húmedos**



Fuente: Kaeser Kompressoren. www.kaeser.com. Consulta: octubre de 2015.

Figura 89. **Compresor de tornillo Kaeser utilizando un intercambiador de calor**



Fuente: Kaeser Kompressoren. [www.kaeser.com](http://www.kaeser.com). Consulta: octubre de 2015.

Figura 90. **Calentamiento de agua por recuperación de calor en compresores**

**CALENTAMIENTO DE AGUA POR RECUPERACIÓN DE CALOR EN COMPRESORES**

- Intercambiadores de calor PTG: para aplicaciones convencionales de calentamiento de agua.
- Intercambiadores SWT de seguridad se recomiendan para aplicaciones que no tienen circuitos de interconexión de agua y en donde es esencial que el agua a ser calentada se mantenga sin contaminar por ejemplo por otro fluido de enfriamiento.

Se muestran dos tipos de intercambiadores de calor: uno de tipo PTG (Intercambiador de calor PTG) y otro de tipo SWT (Intercambiador de calor SWT de seguridad).

Fuente: Kaeser Kompressoren. [www.kaeser.com](http://www.kaeser.com). Consulta: octubre de 2015.

Figura 91. **Compresor de tornillo Kaeser utilizando un intercambiador de calor para calentar agua industrial**



Fuente: Kaeser Kompressoren. www.kaeser.com. Consulta: octubre de 2015.

Tabla XXVIII. **Recuperación de calor (placa PTG)**

RECUPERACION DE CALOR (Placa (PTG))						COMPRESORES	
Modelo	Potencia de motor	Calor máximo disponible			Volumen de agua $t_{\text{cal}} = 70^{\circ}\text{C}$ $t_1 = 55\text{K}$ $\text{m}^3 / \text{h}$	Ahorros*** [€y]	En 2,000 h
		kW	kW	MJ / h			
ASD 32	18.5	16.4	59	14,087	0.26	1848	
ASD 37	22	19.3	69	16,679	0.30	2175	
ASD 47	25	23.9	85	20,530	0.37	2693	
ASD 57	30	27.6	99	23,708	0.43	3110	
BSD 62	30	27.0	97	23,193	0.42	3042	
BSD 72	37	33.3	120	28,604	0.52	3752	
BSD 81	45	40.8	147	35,047	0.64	4597	
BSD 82	45	40.8	147	35,047	0.64	4597	
CSD 102	55	49.4	178	42,434	0.77	5566	
CSD 122	75	62	223	53,258	0.97	6986	
CSDX 137	75	73	263	62,706	1.14	8225	
CSDX 162	90	84	302	72,155	1.32	9466	
DSD 141	75	65	234	55,835	1.02	7324	
DSD 171	90	78	281	67,001	1.22	8789	
DSD 201	110	93	335	79,888	1.46	10479	
DSD 241	132	114	410	97,925	1.79	12845	
DSD 281	160	138	496	118,541	2.16	15549	
ESD 251	132	110	398	94,489	1.72	12395	
ESD 301	160	146	525	125,413	2.29	16451	
ESD 351	200	180	647	154,619	2.82	20282	
ESD 381	200	169	608	145,170	2.65	19042	
ESD 441	250	197	709	169,222	3.08	22197	
FS 440	250	209	752	179,529	3.27	23550	
GS 590	315	263	946	225,915	4.12	29634	
GS 590	315	263	946	225,915	4.12	29634	
GS 640	355	296	1,065	254,262	4.64	33352	
GS 650	355	296	1,065	254,262	4.64	33352	
HS 890	400	334	1,201	286,904	5.23	37634	
HS 780	450	376	1,353	322,981	5.89	42367	

Construidos para toda la vida.

TEMPERATURA DEL AGUA:  
ENTRADA :15° C  
SALIDA: 70° C

QUE SON \$9,521 EN 2000 HORAS DE USO, Y FLUJO DE 1,020 LITROS POR HORA, PARA EL DSD100, PARA 350 DIAS/AÑO (8400 HORAS), SE TENDRIAN ENTONCES \$39,998 POR AÑO\*

QUE SON \$11,425 EN 2000 HORAS DE USO, Y FLUJO DE 1,220 LITROS POR HORA, PARA EL DSD125, PARA 350 DIAS/AÑO (8400 HORAS), SE TENDRIAN ENTONCES \$47,987.94 POR AÑO\*

\* TOMANDO 1.3 COMO FACTOR PARA CONVERTIR EUROS A DOLARES AL 100% DE CARGA TODO EL TIEMPO

Valores para compresores KAESER con carga completa.  
\*\*\* Valor de guía calculado, desviaciones debidas a condiciones de instalaciones posibles.  
Valor de calefacción de aceite de calefacción: 35.5 MJ/l; eficiencia de calefacción: 90 %; precio del aceite de calefacción: €0.50 /l  
© KAESER Compresores de Centro América / www.kaeser.com / Page 9

Fuente: Kaeser Kompressoren. www.kaeser.com. Consulta: octubre de 2015.

Tabla XXIX. Cálculo de ahorro para recuperación de calor

DSD100 al 90% de carga		DSD100		
Días	350	Potencia	74.6	KW @ 109 psi
horas	24	Utilizable	56.696	KW @ 109 psi
% carga	0.9	Q	204105.6	KJ/hr
Kw disponibles	56.696	$\Delta T$	55	K
BTU/horas	193,627	c	4.18	Kg/KJK
horas año en carga	7560	m	887.80	Kg/hr
BTU/año en carga	1,463,820,034	flujo de agua	0.89	m <sup>3</sup> /hr
costo actual BTU Q	Q0.000150			
costo actual BTU USD	50.000019231			
<b>Ahorro anual</b>	<b>\$28,150.39</b>			
<b>Ahorro anual</b>	<b>Q 218,789.34</b>			

DATO DE MANUAL

Fuente: Kaeser Kompressoren. www.kaeser.com. Consulta: octubre de 2015.

Tabla XXX. Cuadro comparativo beneficios al ejecutar propuestas

BENEFICIOS	Actual	Propuesta	Variación	Impacto
CONSUMO DE BUNKER	39,5452 gal/h	31,4871 gal/h	8,0581 gal/h	Reducción del consumo de bunker
CONSUMO DE AGUA	1,25 m <sup>3</sup> /h	0,6647 m <sup>3</sup> /h	0,5852 m <sup>3</sup> /h	Reducción del consumo de agua
EMISIÓN DE CO <sub>2</sub>	986.573 7 lb/h	785,540 2 lb/h	201,033 5 lb/h	Reducción de emisión de libras de CO <sub>2</sub>
TEMPERATURA DE GASES DE CHIMENEA	217 °C	195,50 °C	21,5 °C	Reducción de temperatura de gases de emisión

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Costos de desperdicio energético y ejecución de propuestas (pay-back)**

<b>DESPERDICIO ENERGÉTICO RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR</b>	
Costo por desperdicio energético en tanque de condensado	Q 316 020 8461/año
Costo de la energía desperdiciada por tener la tubería de distribución de vapor sin aislar	Q 186 74 ,0252/año
Costo de la energía desperdiciada por tener la tubería de retorno de condensados sin aislar	Q 98 224 39554/año
Costo de energía por fuga de vapor vivo en la red de distribución de vapor	Q 245 410,7431/año
Costo de energía por fuga de vapor flash red de distribución de vapor	Q 95 003 4768/año
Costo de pérdidas de vapor para estaciones de trampeo y bombeo de condensados (Retorno de condensados)	Q 447 258 24/año
<b>Total costo desperdicio energetico (Q/año)</b>	<b>Q1 388 664,727/año</b>
<b>COSTO EJECUCIÓN DE PROPUESTAS</b>	
Cambio de tanque de condesado de abierto a cerrado	Q 400 000
Aislar tubería de distribución de vapor	Q 12 548.9295
Aislar tubería de retorno de condensados	Q 8 995.4979
Cambio de accesorios fallados	Q 162 000
Cambio de accesorios fallados	Q 54 000
Cambio de trampas de vapor	Q 234 000
<b>Total costo de propuestas</b>	<b>Q 871 544.4274</b>
<i>Pay-back</i>	<b>0,627613282</b>

Fuente: elaboración propia.



## 4. IMPACTO AMBIENTAL

### 4.1. Efectos

A continuación se explicarán los efectos del impacto ambiental.

#### 4.1.1. Emisión de gases producto de la combustión en caldera

La combustión eficiente no solamente se puede juzgar por la condición o color de la llama, aunque se use para hacer ajustes aproximados. Esto se debe hacer de manera que haya una llama brillante y clara sin empañamiento visible, tal y como lo muestra la figura 92.

Figura 92. **Vista al quemador por mirilla de caldera**



Fuente: Empresa de Alimentos.

El ajuste apropiado se debe realizar con la ayuda del analizador de gases de combustión. El ajuste ideal para máxima eficiencia se logra cuando el porcentaje de oxígeno en los gases de la combustión es cero. Sin embargo, es más práctico ajustar el quemador para que opere con una cantidad razonable de exceso de aire para compensar por variaciones menores de la presión, temperatura, o propiedades de combustión del aceite. Quince a 20 % de exceso de aire se considera razonable y esto puede generar una lectura de dióxido de carbono aproximada de 12-1/2 a 13 %.

Al inspeccionar la tabla XXXII, el manual de caldera indica que debe existir entre un 15 a 20 % de exceso de aire para considerarlo razonable, del muestreo realizado con el analizador de gases de combustión Bacharach, se obtiene 29,1289 % de aire extra lo que permite quemar el combustible lo máximo posible. La lectura de CO<sub>2</sub> debería estar aproximadamente entre 12-1/2 a 13 %. El valor obtenido por el muestreo presenta 12,8263 % de CO<sub>2</sub>. Es decir cuando se siguen los procedimientos de ajustes a cabalidad se es amigable con el ambiente. Puesto que los porcentajes de emisiones se encuentran dentro del marco técnico legal.

Tabla XXXII. **Variables de emisión de gases de combustión**

VARIABLES EMISIÓN DE GASES DE COMBUSTIÓN						
Valores	% O <sub>2</sub>	% EFF	% CO <sub>2</sub>	%EA	T-Stk °C	T-Air °C
Promedio	4,6632	87,4737	12,8263	29,1289	195,5000	31,5895

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.2. Vapor de agua expulsado al exterior

Al ambiente se expulsa vapor vivo y vapor *flash* de la tabla XXV se obtiene que, suman un total de 4,074 lb/h expulsadas al exterior; debido a que,

el costo del vapor producido es de (Q0,165/lb), durante las 7 488 horas de operación anual de toda la red de distribución de vapor, en términos de dinero, se tiene un costo por vapor de agua expulsado al exterior de (Q5 033 508,48/año).

#### **4.1.3. Consumo de agua**

Para la generación de vapor de la tabla XIII se utiliza en promedio 1,25 m<sup>3</sup>/h; definitivamente es una cantidad enorme consumida. Lo que equivale a (2 750 lb/h). El porcentaje de agua fresca de alimentación presente en cada libra de vapor producido es de 53,1826 %; el resto para completar el 100 % de una libra de vapor producido es la cantidad del condensado recuperado 46,8174 %.

De la tabla IV, para calentar agua a 130,3525 °F (54,6403 °C) es necesario disponer de 114,7491 Btu/lb. En términos de dinero, el costo por no recuperar el condensado con la energía contenida a esa temperatura es de (Q316 020,8461/año).

#### **4.2. Los beneficios de recuperar el condensado**

Podrán darse la máxima eficiencia y larga duración de la red de distribución de vapor y recuperación de condensado, al más bajo costo consistente en buenas prácticas técnicas y operaciones del agua de alimentación tratada adecuadamente. Es necesario seguir de manera estricta las recomendaciones de la compañía de tratamiento de agua, de tal forma que sea posible prevenir la presencia de sólidos y gases corrosivos indeseables.

Entre los beneficios al recuperar el condensado entre otros: la prevención de depósitos de incrustaciones o sedimentos que perjudican la transferencia eficiente de calor, por el contrario la red de distribución y recuperación de condensados sufrirá sobrecalentamiento de los componentes que producirá reparaciones y paralizaciones costosas.

También la eliminación de gases corrosivos contenidos en el agua de suministro o de la caldera. Prevención de agrietamiento y fragilización de los materiales de la caldera. Algo importante es la prevención de la acumulación de restos de agua y espuma en el sistema.

Para el logro de los beneficios se requiere un adecuado tratamiento de agua de alimentación antes y después de que llegue al sistema en la caldera. Debido a las variables involucradas, ningún suministro para caldera puede considerarse el mejor y de ninguna manera es aconsejable experimentar. Las recomendaciones correctas se originan de análisis periódicos del agua de alimentación de la caldera y el condensado. La recuperación de condensados evitará la presencia de contaminantes, acumulación de materia extraña, corrosión o picaduras.

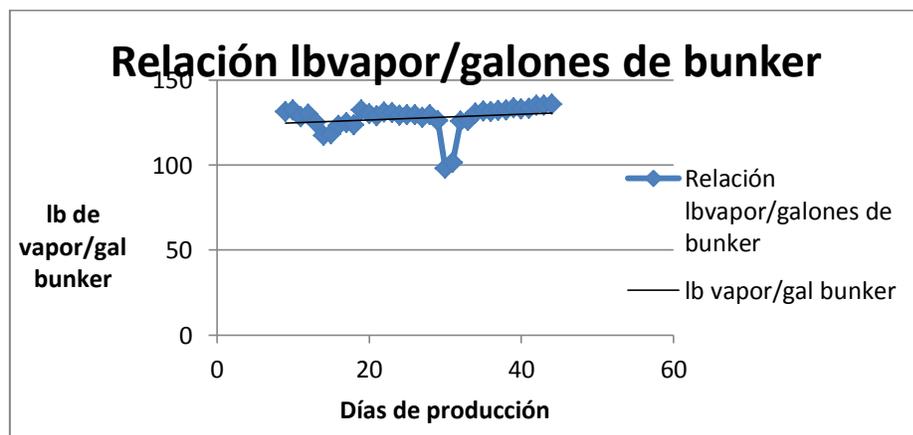
#### **4.3. Alternativas**

De acuerdo con los datos presentados en la tabla II, la caldera a su nivel máximo demandado por producción en planta es capaz de producir 5 170,86 libras de vapor por hora, para lo que necesita 39,55 galones de búnker por hora, es decir son necesarios 0,00764 galones de bunker para producir 1 libra de vapor.

El gráfico de la figura 95 muestra en el eje de las ordenadas la relación libras de vapor respecto de galones de bunker mientras que en el eje de las abscisas se muestra la variable tiempo de operación en los días de producción. La tendencia en la relación de libras de vapor/galones de bunker debería ser creciente; es decir obtener más vapor utilizando la menor cantidad posible de combustible, al final es un factor que muestra la eficiencia energética de la caldera.

Tras el estudio de eficiencia de caldera, el decremento en la relación libras de vapor/galones de bunker se atribuye a los incorrectos ajustes realizados al arrancar la caldera, por el operario del cuarto de calderas.

Figura 93. **Eficiencia de producción de caldera luego de ajustes realizados**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Excel.

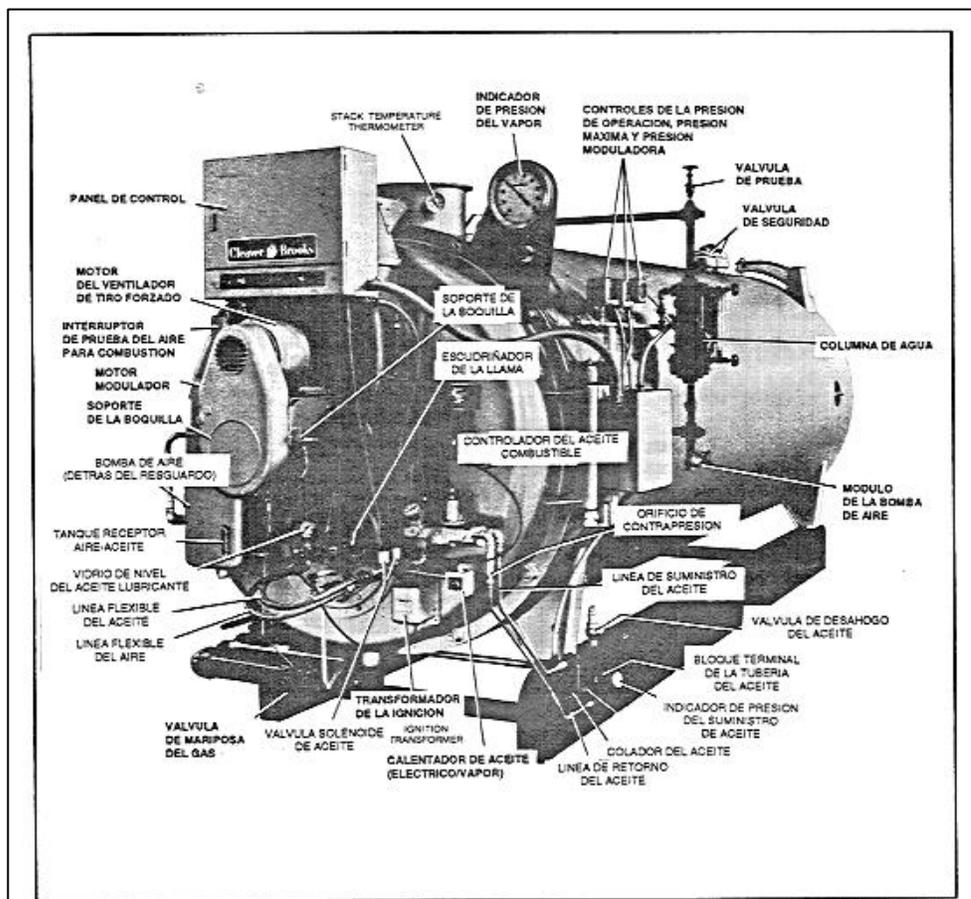
#### 4.3.1. Quemador y el sistema de control

El quemador de aceite es del tipo de baja presión, atomizado por aire (boquilla). El quemador de gas es del tipo con orificio sin necesidad de

premezcla. Los quemadores se encienden por medio de chispa generada por un piloto de gas. El piloto es del tipo interrumpido y se apaga después de que se ha establecido la llama principal.

Sin tomar en cuenta el combustible que se usa, el quemador opera con modulación completa (dentro de los límites de operación clasificados) por medio de controles posicionadores tipo potenciómetro, y el quemador vuelve a la posición de alimentación mínima para la ignición.

Figura 94. Caldera típica de vapor



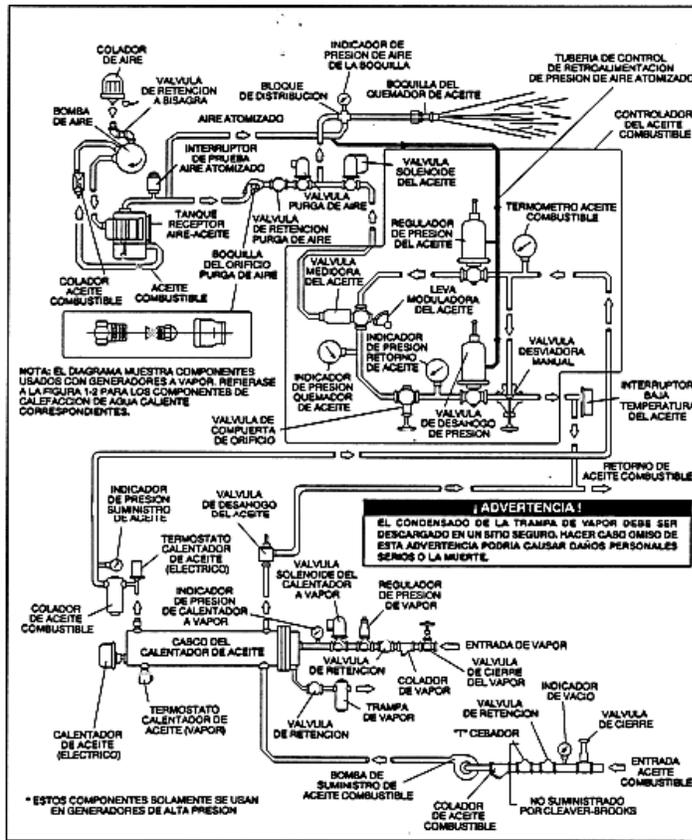
Fuente: Cleaver-Brooks. *Manual de operación, servicio y repuestos.* p. 86.

Toda las calderas modelo "CB" tienen el ensamble del quemador en la puerta delantera de la caldera. (ver figura 95). La puerta puede abrirse completamente para inspección y mantenimiento. El aire de combustión lo suministra un soplador centrífugo localizado en la puerta delantera. El abastecimiento del aire de combustión al quemador está controlado por el actuador de compuerta. Este mismo actuador regula el flujo de gas combustible por medio de un sistema articulado conectado a la válvula de mariposa del gas, y el flujo del aceite combustible, por medio de una válvula medidora actuada por leva.

El combustible y el aire entran proporcionalmente a fin de producir una combustión más eficiente. El aire primario filtrado para atomizar el aceite combustible es suministrado independientemente del aire para combustión por una bomba de aire. El flujo del aceite combustible y el sistema de circulación se muestran en el diagrama esquemático en la figura 97, para quemadores de aceite número 6. El flujo de aceite se indica por flechas y se identifican los controles pertinentes.

El aceite combustible es distribuido en el sistema por la bomba de suministro de aceite combustible, que lleva parte de su descarga al calentador de aceite. El exceso del aceite combustible regresa al tanque de almacenamiento de aceite a través de una válvula de desahogo del aceite combustible y la línea de retorno de aceite.

Figura 95. Diagrama esquemático para flujo del aceite número 6



Fuente: Cleaver-Brooks. *Manual de operación, servicio y repuestos*. p 25.

El precalentador combinado eléctrico y vapor es controlado por termostatos. El termostato del calentador eléctrico activa el calentador eléctrico que se provee para suministrar aceite caliente en arranques fríos. El termostato del calentador a vapor controla la operación de la válvula solenoide para permitir el flujo de vapor al calentador cuando lo hay.

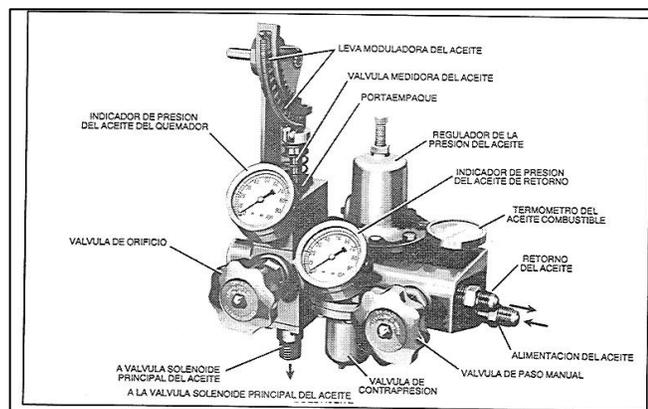
Una caldera de agua caliente está equipada para calentar el aceite a menos que se use otro equipo de precalentamiento. El flujo de aceite al quemador está controlado por el movimiento del vástago de la válvula medidora

del aceite, que varía el flujo para satisfacer demandas de carga. La válvula medidora y la compuerta de aire están controladas simultáneamente todo el tiempo por el motor modulador para repartir el aire de combustión y combustible para ajustar a los cambios en las demandas de carga.

Las válvulas de gas principales no se pueden activar (abrir a menos que el interruptor de prueba del aire de combustión esté cerrado para indicar suficiente suministro de aire de combustión). Los interruptores de baja y alta presión de gas deben estar cerrados para comprobar que existe suficiente, pero no en exceso, presión de gas combustible.

Cuando se usan dos válvulas de gas principales, se instala una válvula respiradora normalmente abierta entre ellas. Esta permanece cerrada, cuando las válvulas de gas principales están abiertas. Cuando están cerradas, la válvula respiradora está abierta para ventilar el gas en caso lo haya. Ver figura 96.

Figura 96. **Ensamble de la válvula de control del aceite, para aceite pesado**



Fuente: Cleaver-Brooks. *Manual de operación, servicio y repuestos*. p. 36.

El aceite se purga por medio del inyector al quemador. La válvula solenoide de purga del aire se abre al cerrarse la válvula del combustible y desvía el aire atomizado a través de la línea del aceite. Esto asegura que la boquilla y la línea estén limpias para el arranque siguiente.

El motor modulador, por medio de un sistema articulado, controla la compuerta de aire y la válvula de mariposa del gas o la medidora del aceite, para mantener constante la relación aire-combustible durante la serie de encendido.

Durante la operación del quemador, el motor es controlado por un modulador de la presión (en una caldera de vapor), o de la temperatura (en una caldera de agua caliente). Un potenciómetro operado manualmente se provee para fijar el motor a un rango de encendido del quemador deseado. Esto se usa principalmente para la verificación y ajuste inicial o subsecuente de la entrada del combustible. La operación normal deberá ser con el interruptor manual-automático en la posición “automático” y bajo el control del motor modulador.

El motor modulador (llamado comúnmente actuador de compuerta es reversible. Tiene un interruptor limitador interno que restringe la rotación del eje a 90 grados. Durante la operación normal, el motor se mueve en cualquier dirección o se detiene en cualquier posición de este radio de acción.

El potenciómetro del motor está conectado eléctricamente al control modulador. Este cambio en la resistencia causa a un relevador compensador integral a parar, arrancar o dar contramarcha a la rotación del motor. La rotación en cualquier dirección continúa hasta que la relación de resistencia de los dos potenciómetros sea igual. Al lograrse este equilibrio, el motor se detiene en una

posición que permite el flujo adecuado de combustible y aire de combustión para satisfacer las demandas de operación.

Una característica del circuito es que el motor modulador debe estar en la posición de baja alimentación durante la ignición y permanecer así hasta que se establezca la llama principal. Un interruptor de baja alimentación, integrado al motor, se activa por la rotación del motor. El interruptor debe estar cerrado para establecer que la compuerta de aire y las válvulas medidoras de combustible estén en posición de baja alimentación antes que el programador inicie el período de ignición, durante este período sin tomar en cuenta sus ajustes correspondientes, ni el control manual de la llama ni el modulador sobre el motor de la compuerta de aire.

#### **4.3.2. Procedimientos para los ajustes**

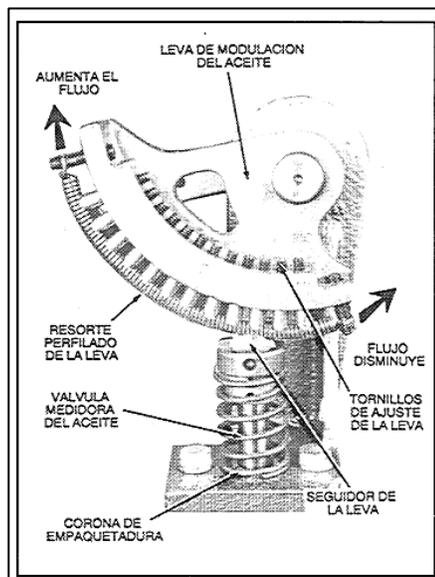
Las variables como características del combustible utilizado y condiciones de carga de operación, pueden requerir ajustes adicionales posteriores a la instalación para asegurar máxima eficiencia de operación y economía. Un análisis de la eficiencia de combustión durante el arranque inicial ayudará a determinar los ajustes adicionales que se requieren en una instalación específica.

Antes de poner la caldera en servicio, se debe efectuar una inspección completa de todos los controles, tubería de conexión, alambrado, y todos los fijadores como tuercas, pernos y tornillos de presión, para asegurar que no ha ocurrido ningún daño o desajuste.

### 4.3.3. Sistema articulado motor modulador y compuerta de aire

El sistema articulado consiste de varios brazos, bielas y articulación de rótula giratoria, que transmiten el movimiento del motor modulador a las levas medidoras, a la compuerta de aire rotativa y a la válvula de mariposa del gas, si se usa.

Figura 97. Leva moduladora del aceite



Fuente: Cleaver-Brooks. *Manual de operación, servicio y repuestos*. p. 70.

Cuando están ajustados adecuadamente, se obtiene un movimiento coordinado de la compuerta y de las levas medidoras dentro de los límites del desplazamiento del motor modulador, para suministrar la relación adecuada de aire-combustible a través del rango de encendido. Ver figura 97. En los ajustes del sistema articulado existen varios factores importantes que deben tomarse como guías.

#### **4.3.3.1. Ajuste de la llama del piloto de gas**

El tamaño de la llama del piloto de gas se regula ajustando el flujo de gas por medio del regulador del gas del piloto y la llave de cierre ajustadora. Debe haber suficiente llama para encender la llama principal y que la pueda ver el detector de llama, pero no se requiere una llama muy grande. Una llama demasiado rica puede causar la acumulación de hollín en el detector de llama. Una llama demasiado pequeña puede causar problemas de ignición. Aunque es posible ajustar visiblemente el tamaño de la llama del piloto, es preferible obtener una lectura en microamperios de la señal de la llama.

#### **4.3.3.2. Ajuste de la combustión del gas combustible**

Para obtener una combustión eficiente, los ajustes se deben efectuar después de operar la caldera por un tiempo suficiente para asegurarse que está caliente. La apariencia o el color de la llama no indican la eficiencia del gas, ya que una llama eficiente varía entre azul transparente y amarilla translúcida.

El ajuste apropiado de la proporción de aire/combustión en todas las graduaciones del encendido se debe establecer utilizando un analizador de gases de combustión. Este instrumento mide el contenido, en porcentajes de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), oxígeno ( $\text{O}_2$ ), y de monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) en los gases de la combustión.

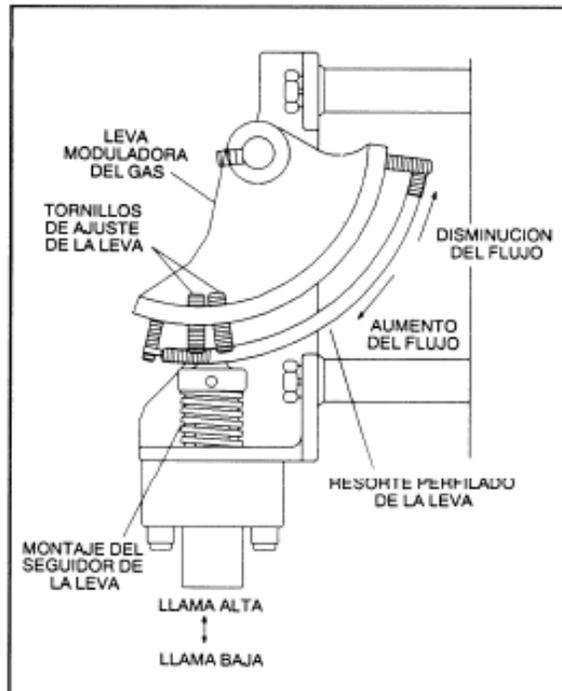
La eficiencia del quemador se calcula por la cantidad o porcentaje de  $\text{CO}_2$  en los gases de la combustión. El porcentaje teórico máximo de  $\text{CO}_2$  del gas natural es aproximadamente 11,7 %. Este se logra cuando no hay exceso de oxígeno ( $\text{O}_2$ ) o monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ). Un porcentaje definitivo de exceso

de aire (oxígeno) es requerido por la mayoría de las autoridades locales, y por supuesto, el quemador nunca debe operarse con una proporción de aire/combustible que indique un porcentaje detectable de monóxido de carbono, sujeto a las regulaciones locales pertinentes a las cantidades específicas de exceso de oxígeno, generalmente se recomienda que se obtengan lecturas de dióxido de carbono entre 9-1/2 y 10-1/2 % con la lectura correspondiente de oxígeno entre 2 y 4 %.

Cuando se obtenga el flujo adecuado, efectuar un análisis de los gases de la combustión. La lectura del dióxido de carbono deberá estar entre 9–1/2 y 10–½ % y la lectura correspondiente de oxígeno entre 2 y 4 %. Una vez establecida la relación de aire-combustible de alta alimentación, el regulador de presión del gas no necesita ajustes adicionales. Después de asegurarse que la compuerta del control de aire y sus conexiones están correctamente ajustadas para que provean la cantidad adecuada de aire secundario, y después de ajustar el regulador de presión de gas, se pueden efectuar ajustes finales, de ser necesario, a la leva moduladora del gas para que se obtenga una relación de aire-combustible constante durante todos los intervalos del encendido.

Ya que la entrada del aire de combustión se fija en cualquier punto del ciclo de modulación, la lectura de los gases de la combustión se determina variando la admisión de gas combustible en ese ajuste. El ajuste a la leva medidora se efectúa por medio de tornillos de ajuste (ver figura 98), que se giran hacia afuera (hacia la izquierda desde el extremo de la cabeza hexagonal) para disminuirlo.

Figura 98. **Leva moduladora del gas**

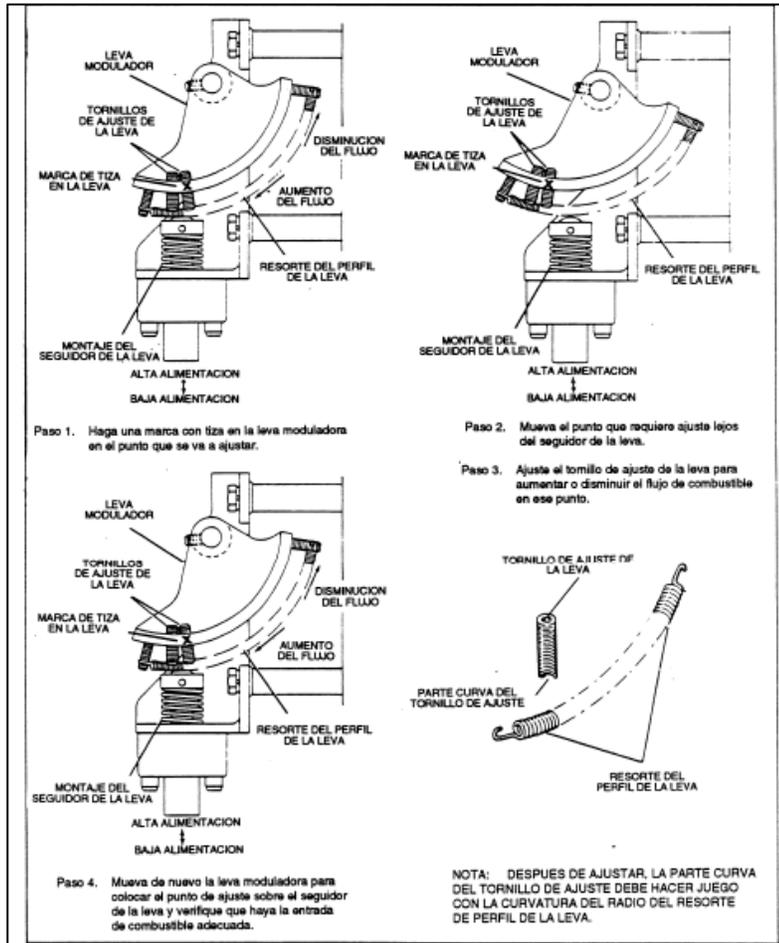


Fuente: Cleaver-Brooks. *Manual de operación, servicio y repuestos*. p. 79.

La velocidad del flujo es mayor cuando el montaje del seguidor de leva está más próximo al contraeje. Por medio del interruptor del control manual de la llama, colocar la leva de tal manera que el tornillo de ajuste adyacente al extremo o al tornillo de alta alimentación, haga contacto con el seguidor de leva. Efectuar el análisis de la combustión en este punto. De necesitarse un ajuste a ese tornillo de la leva, seguir este procedimiento recomendado.

Usando un pedazo de tiza, marque el punto que requiera ajuste en el costado de la leva (ver la figura 99). Luego girar la leva para mover el tornillo que requiere ajuste lo suficientemente lejos para que no haga contacto con el seguidor de la leva y ajustar para aumentar o disminuir el flujo de combustible.

Figura 99. Procedimiento del ajuste de la leva moduladora



Fuente: Cleaver-Brooks. *Manual de operación, servicio y repuestos*. p. 93.

#### 4.3.3.3. Ajuste para la combustión del aceite combustible

Se deben efectuar ajustes a la caldera después de operarla por un período de tiempo suficiente para asegurar que se caliente, a fin de obtener una combustión eficiente. La combustión eficiente no solamente se puede juzgar por la condición o color de la llama, aunque se usen para hacer ajustes

aproximados. Esto se debe hacer de manera que haya una llama brillante y clara sin empañamiento visible.

El ajuste apropiado de las proporciones de aire/combustible en todas las graduaciones del encendido se debe establecer por medio de un analizador de gases de la combustión. Este instrumento mide el contenido de los gases de la combustión, en porcentajes, ya sea de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), oxígeno ( $\text{O}_2$ ), y monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) en los gases de combustión.

La eficiencia del quemador se determina por la cantidad, en porcentajes, de bióxido de carbono presente en los gases de la combustión. El ajuste ideal para máxima eficiencia se logra cuando el porcentaje de oxígeno en los gases de la combustión es cero. Sin embargo, es más práctico ajustar el quemador para que opere con una cantidad razonable de exceso de aire para compensar por variaciones menores de la presión, temperatura, o propiedades de combustión del aceite. Quince a 20 % de exceso de aire se considera razonable y esto puede generar una lectura de bióxido de carbono aproximada de 12-1/2 a 13 %.

Nunca se debe operar el quemador con una proporción de aire-combustible que indique un porcentaje detectable de monóxido de carbono. Usando el control manual de la llama, se debe aumentar la llama poco a poco hasta llegar a la posición de alta alimentación. En la posición de alta alimentación, la compuerta del regulador de aire deberá estar completamente abierta.

Tomar la lectura del análisis de los gases de la combustión en este momento. De ser necesario, efectuar ajustes al controlador del aceite combustible para aumentar o disminuir la presión. Esto debe hacerse antes de

intentar el ajuste de los tornillos en la leva medidora. Idealmente, el resorte perfilado de la leva deberá estar lo más próximo a la fundición de la leva, y es más deseable bajar la presión del aceite, para reducir el flujo, de ser necesario, extender los tornillos de ajuste a una posición extrema.

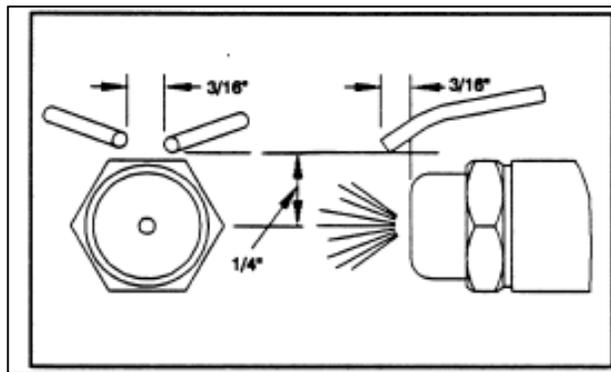
Después de asegurarse que la compuerta del regulador de aire y sus conexiones están operando adecuadamente para suministrar la cantidad apropiada de aire secundario, y que los ajustes de la presión del aceite combustible estén correctos, se puede efectuar un ajuste final, de ser necesario, a la leva moduladora del aceite para obtener una relación constante de aire-combustible durante todo el rango del encendido.

Ya que la entrada de aire de combustión ordinariamente se fija en cualquier punto de ciclo de modulación, la lectura de los gases de la combustión se determina variando la entrada del combustible a ese ajuste. Este ajuste a la leva medidora se hace por medio de los tornillos de ajuste (figura 99), los que se giran hacia afuera (hacia la izquierda desde el extremo de la cabeza hexagonal) para aumentar el flujo del combustible, y hacia adentro (hacia la derecha desde el extremo de la cabeza hexagonal) para disminuirlo. La velocidad del flujo es mayor cuando el montaje del seguidor de leva está más próximo al contra-eje.

Si se ajustan adecuadamente la presión del aceite, la presión del aire primario y las interconexiones, la leva medidora deberá requerir un mínimo ajuste. Si el ajuste es necesario, continuar con el siguiente procedimiento. Con el interruptor del control de la llama, colocar la leva de tal manera que el tornillo de ajuste adyacente al extremo o al tornillo de alta alimentación, haga contacto con el seguidor de leva.

Efectuar un análisis de la combustión en este momento. Si es necesario un ajuste a ese tornillo de la leva, proceder de la siguiente manera: usando un pedazo de tiza, marcar el punto que requiere ajuste. Ver la figura 100. Luego girar la leva para mover el tornillo que requiere ajuste, lo suficientemente lejos para que no haga contacto con el seguidor de la leva, y ajustar para aumentar o disminuir el flujo de combustible.

Figura 100. **Ajuste del electrodo, piloto de aceite**



Fuente: Cleaver-Brooks. *Manual de operación, servicio y repuestos*. p. 75.

Regresar la leva al punto en el cual el ajuste era requerido y verificar de nuevo la entrada de combustible. Continuar con este proceso, parando en cada tornillo de ajuste, hasta llegar a la posición de baja alimentación. Si todos los tornillos están ajustados adecuadamente, ninguno se desviará del contorno general de la cara de la leva.

#### 4.3.3.4. Limpieza de las argas de combustión (FOGON)

El hollín y materiales no combustibles son aisladores efectivos, y si se permite su acumulación, disminuirá la transferencia de energía al agua, lo que

aumentará el consumo de combustible. El hollín y otros depósitos pueden absorber la humedad formando ácidos corrosivos que deterioran el metal del fogón.

La eliminación de estos materiales debe efectuarse a intervalos frecuentes y regulares dependiendo de la carga, tipo y calidad de combustible, temperatura interna de la caldera y eficiencia de combustión. Un termómetro para la temperatura del cañón de la chimenea debe usarse y puede servir como guía para determinar los intervalos de limpieza, ya que la acumulación de depósitos de hollín aumentará la temperatura del cañón de la chimenea.

La limpieza de los tubos se logra abriendo las puertas delantera y trasera. Estos se pueden cepillar desde cualquier extremo. Todo el hollín suelto y acumulaciones deben removerse. El hollín u otros depósitos deberán removerse del horno y de las placas tubulares. El deflector del respiradero y el cañón de la chimenea deberán inspeccionarse anualmente y limpiarse, de ser necesario. La chimenea también debe inspeccionarse y repararse si está dañada.

## 5. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR

### 5.1. Diagramas de distribución de vapor

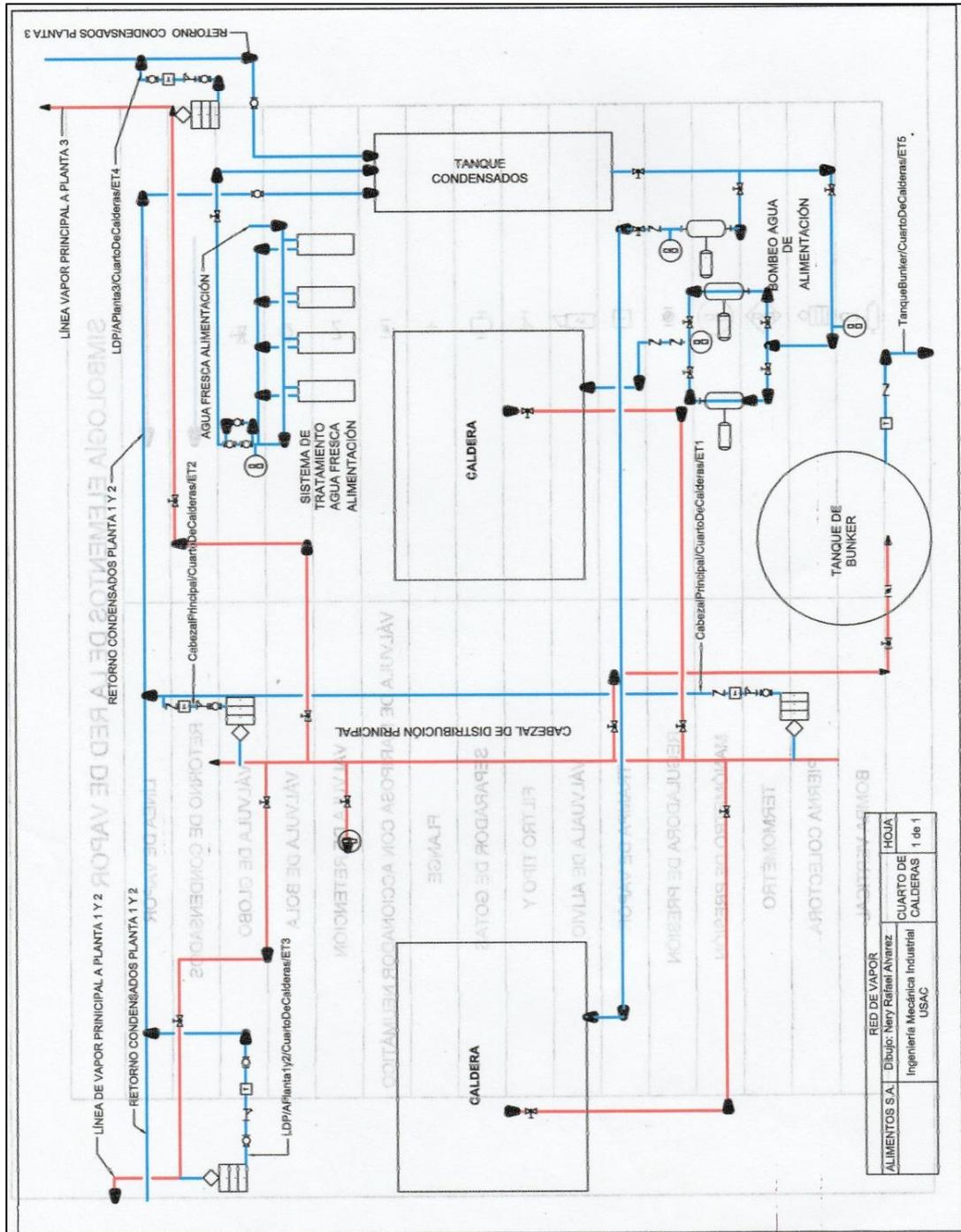
Estos nos indicarán secuencialmente el proceso que conlleva la generación de vapor, debido a la complejidad de operaciones, se ha tratado de simplificar para una mejor comprensión del proceso.

Figura 101. **Simbología de elementos de la red de vapor**

SIMBOLOGÍA ELEMENTOS DE LA RED DE VAPOR	
	LÍNEA DE VAPOR
	RETORNO DE CONDENSADOS
	VÁLVULA DE GLOBO
	VÁLVULA DE BOLA
	VÁLVULA DE RETENCIÓN
	VÁLVULA DE MARIPOSA CON ACCIONADOR NEUMÁTICO
	FLANGE
	SEPARADOR DE GOTAS
	FILTRO TIPO Y
	VÁLVULA DE ALIVIO
	TRAMPA DE VAPOR
	REGULADORA DE PRESIÓN
	MANÓMETRO DE PRESIÓN
	TERMOMÉTRIO
	PIERNA COLECTORA
	BOMBA VERTICAL

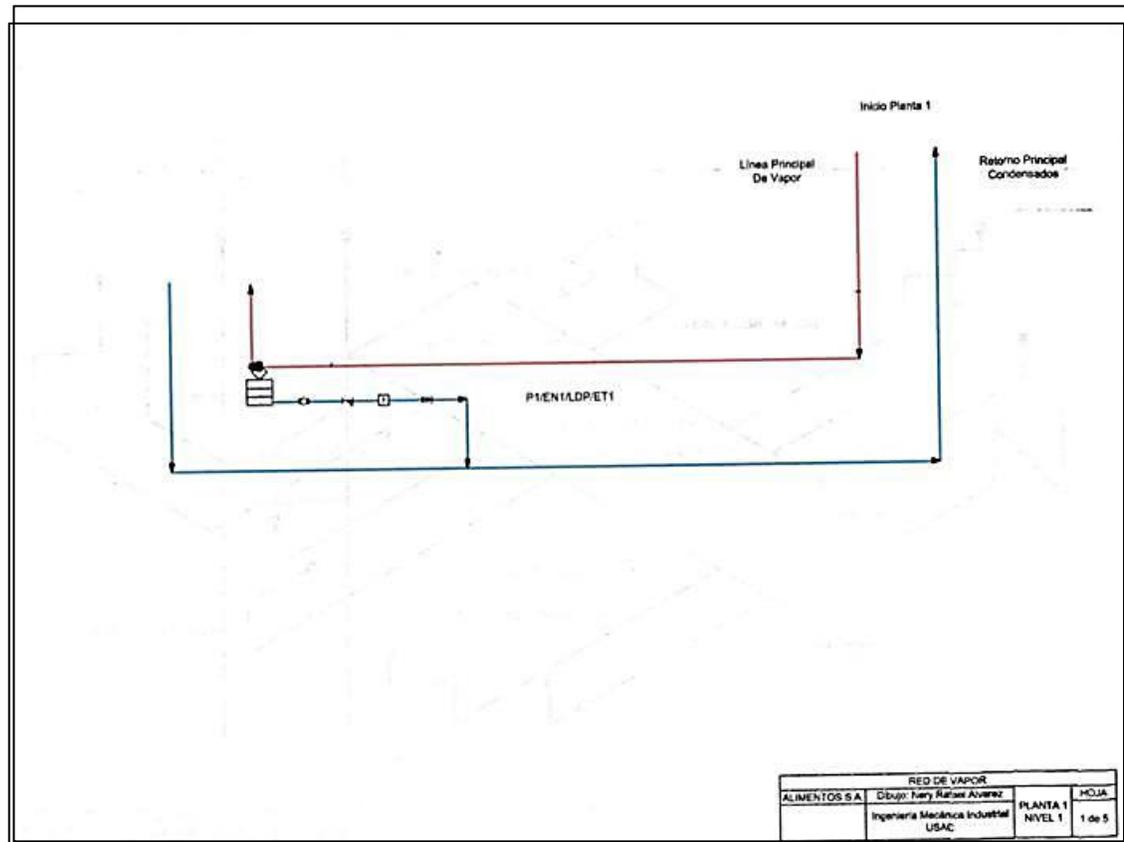
Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD.

Figura 102. Plano de red de distribución de vapor cuarto de calderas



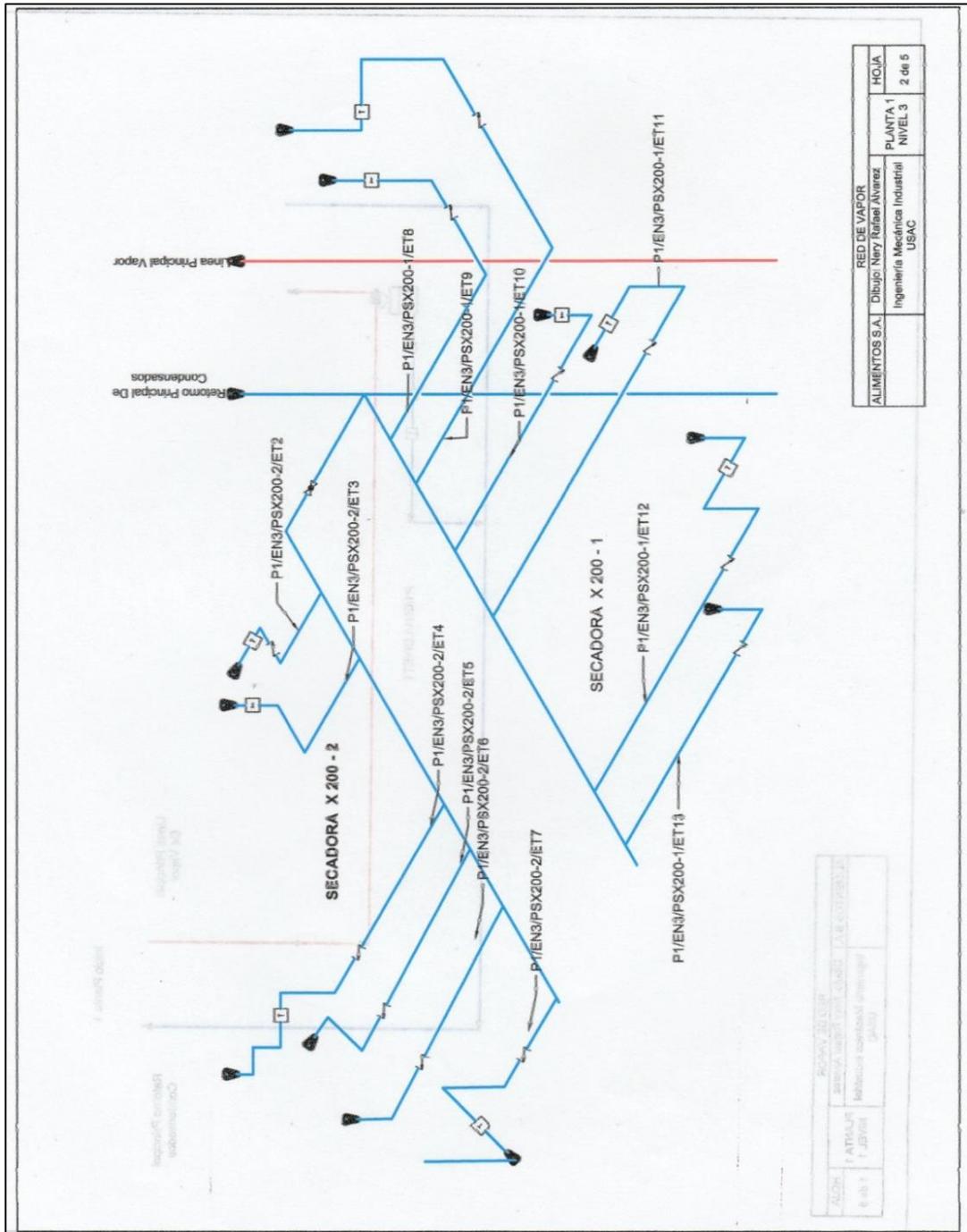
Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD.

Figura 103. **Plano de red de distribución de vapor, planta 1, nivel 1**



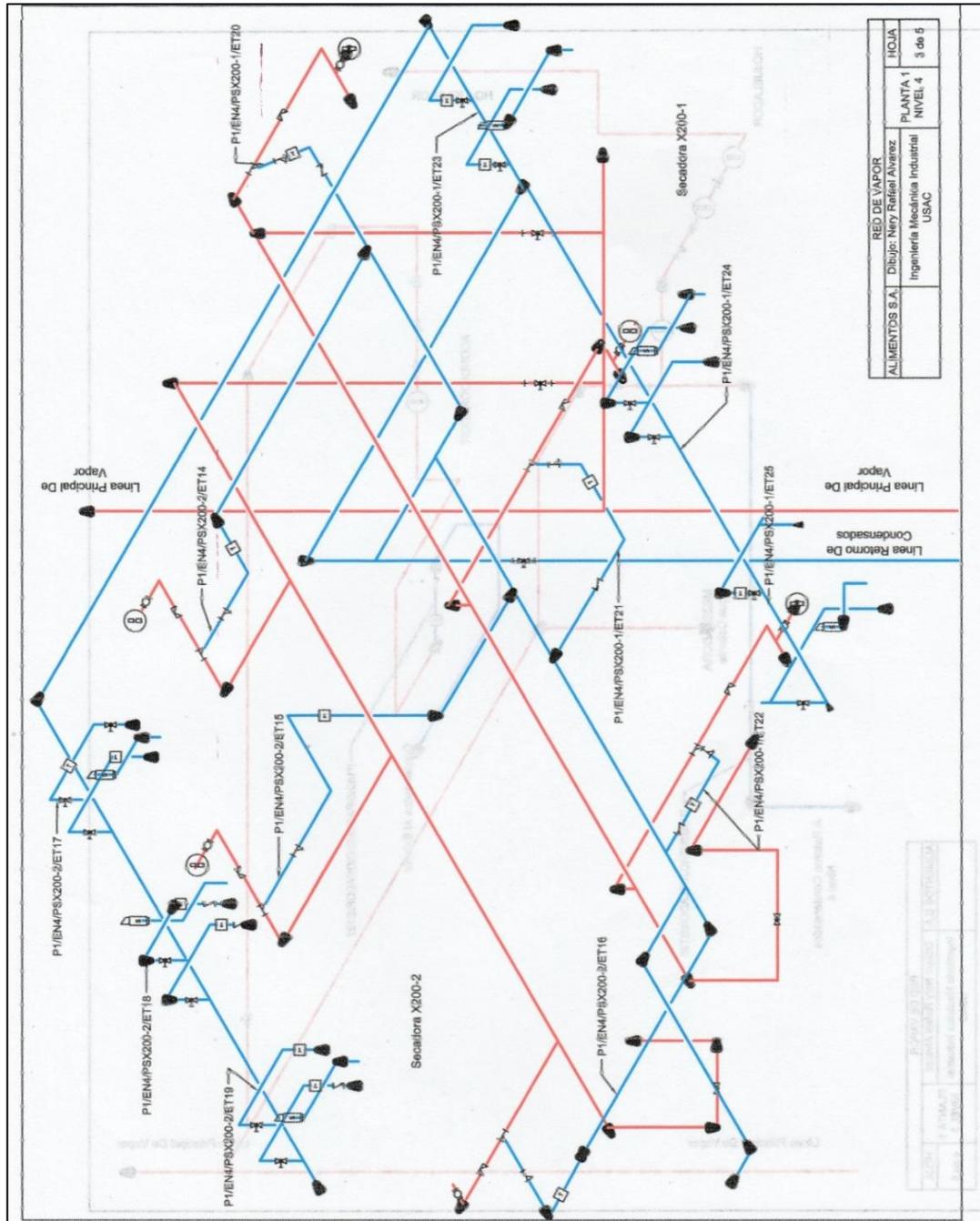
Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD.

Figura 104. Plano de red de distribución de vapor, planta 1, nivel 3



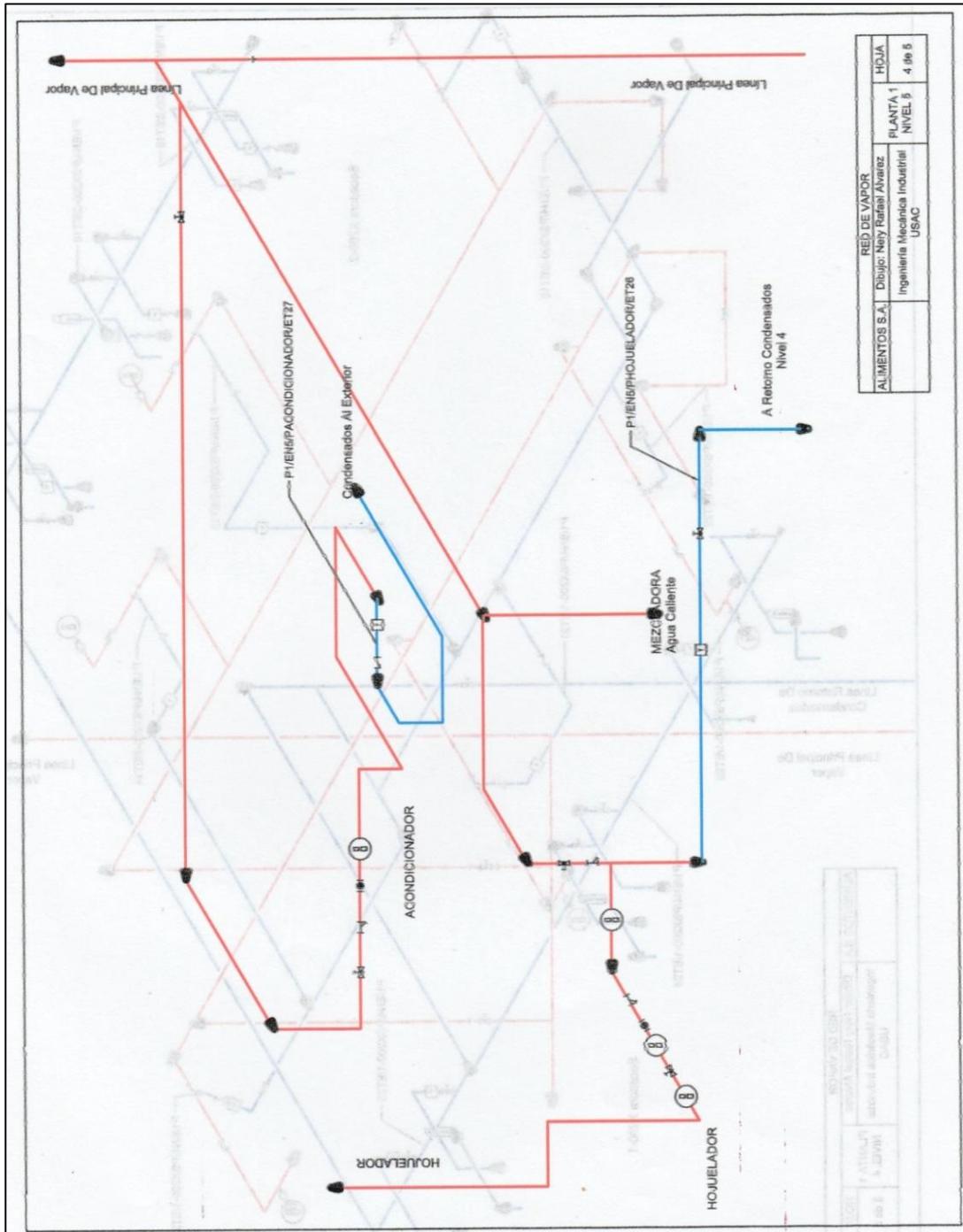
Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD.

Figura 105. Plano de red de distribución de vapor, planta 1, nivel 4



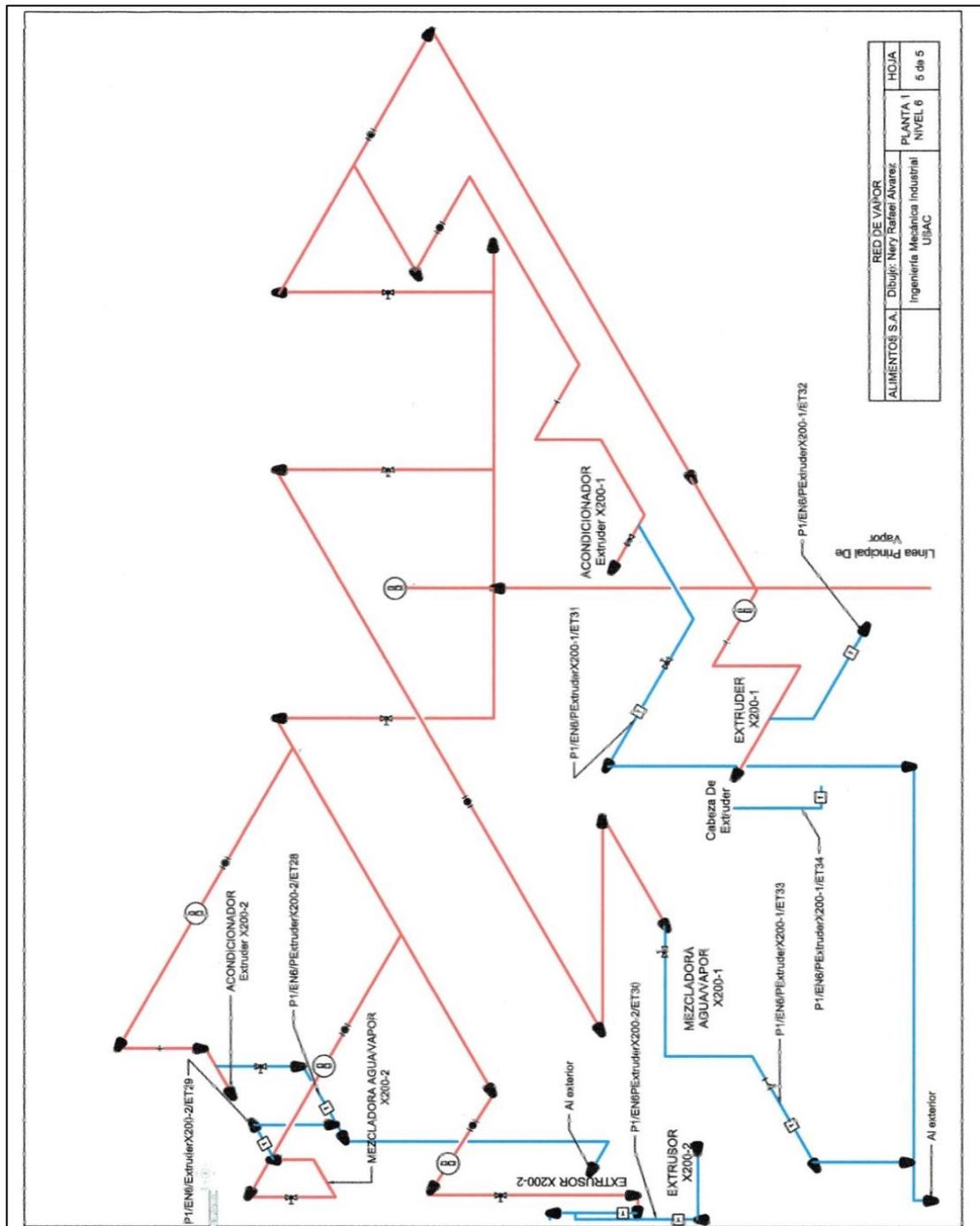
Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD.

Figura 106. Plano de red de distribución de vapor, planta 1, nivel 5



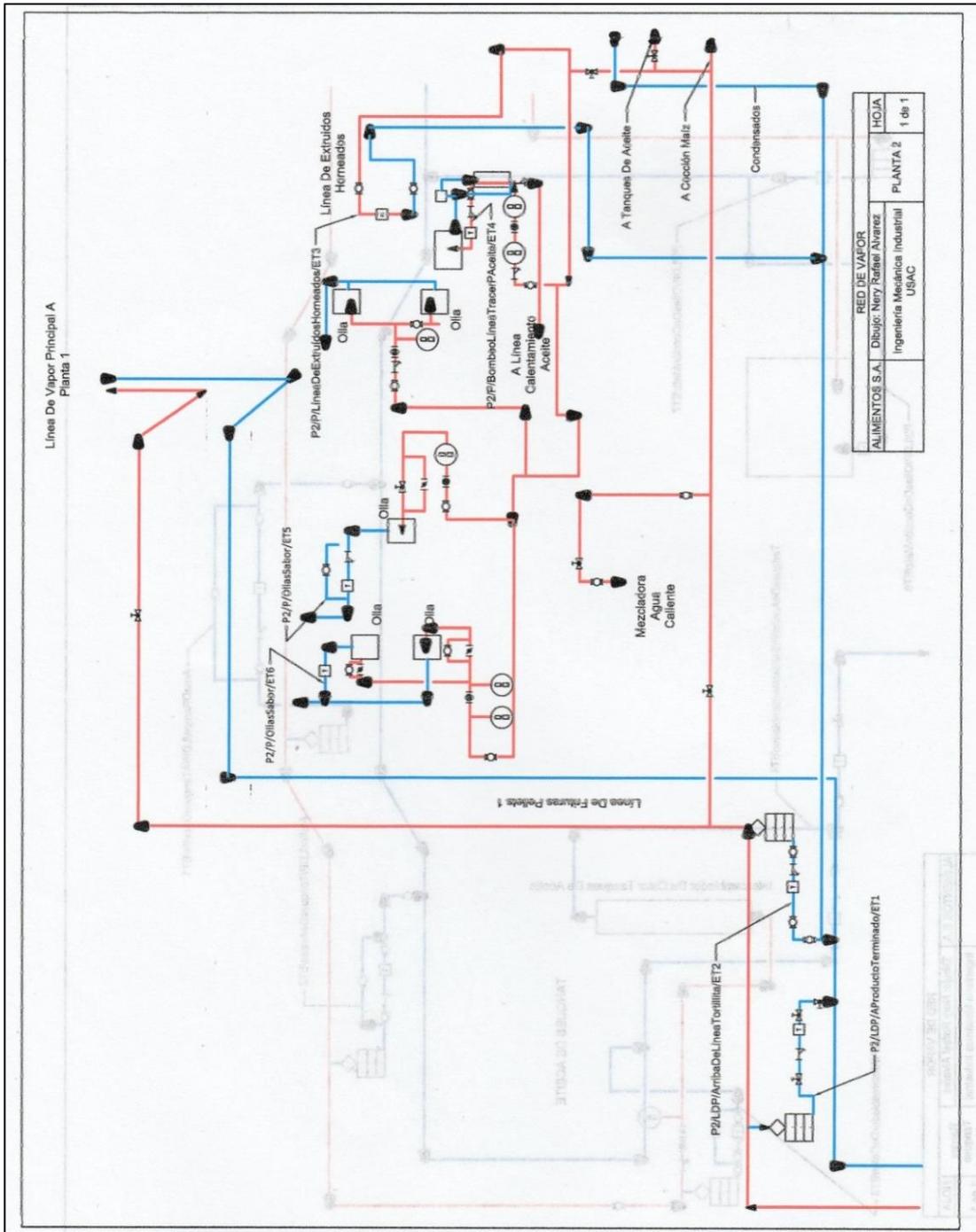
Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD.

Figura 107. Plano de red de distribución de vapor, planta 1, nivel 6



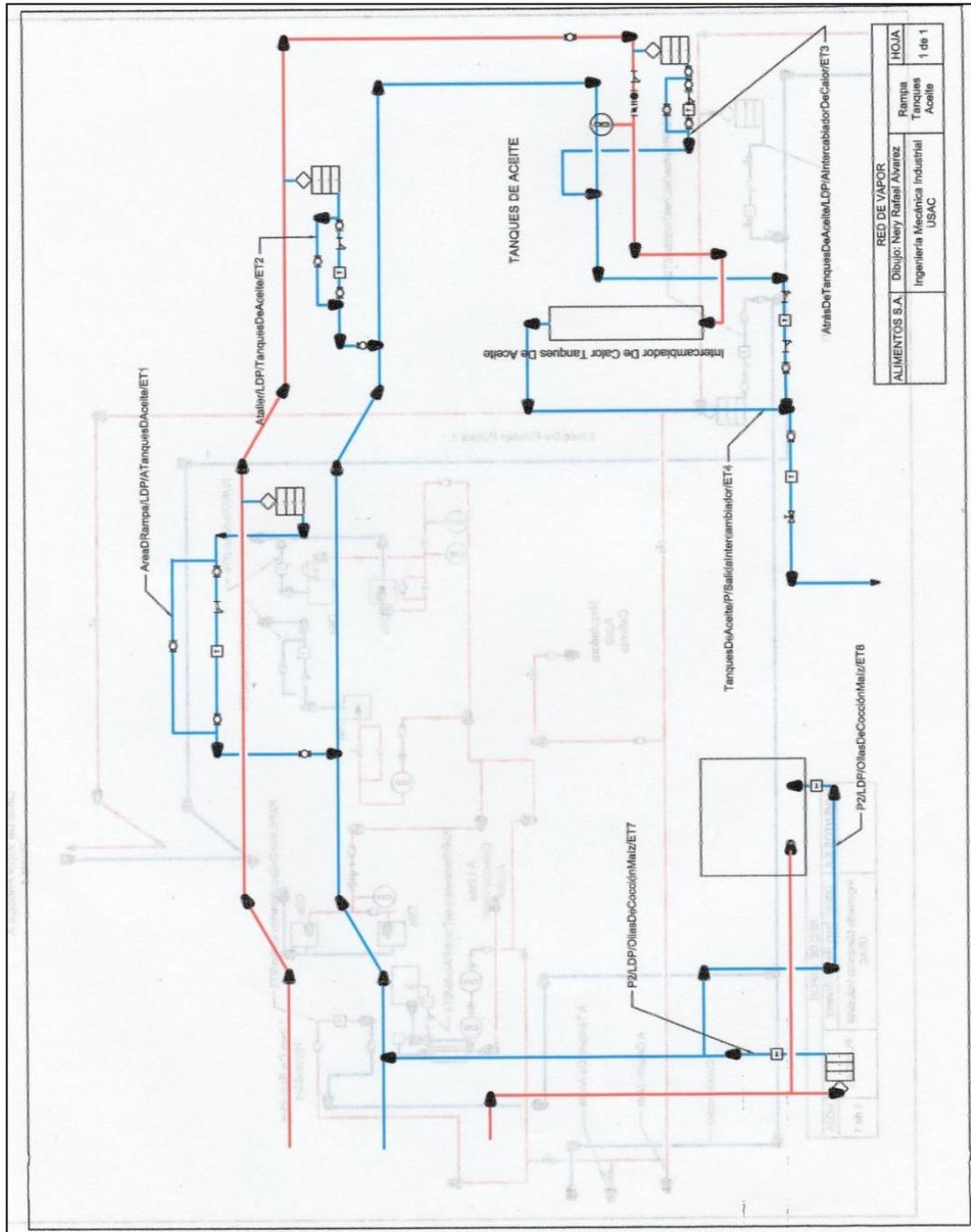
Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD.

Figura 108. Plano red de distribución de vapor, planta 2



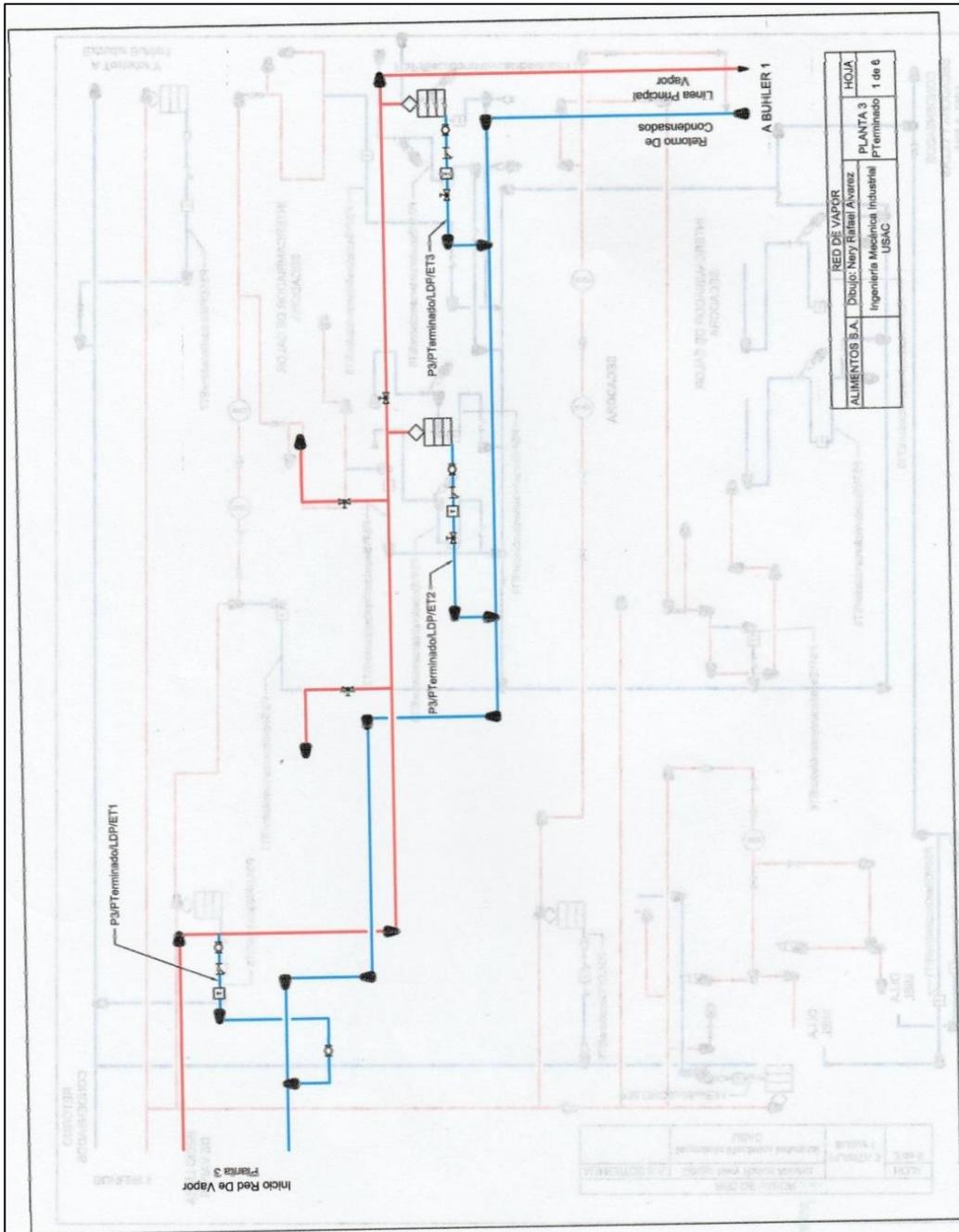
Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD.

Figura 109. Plano de red de distribución de vapor, a tanques de aceite



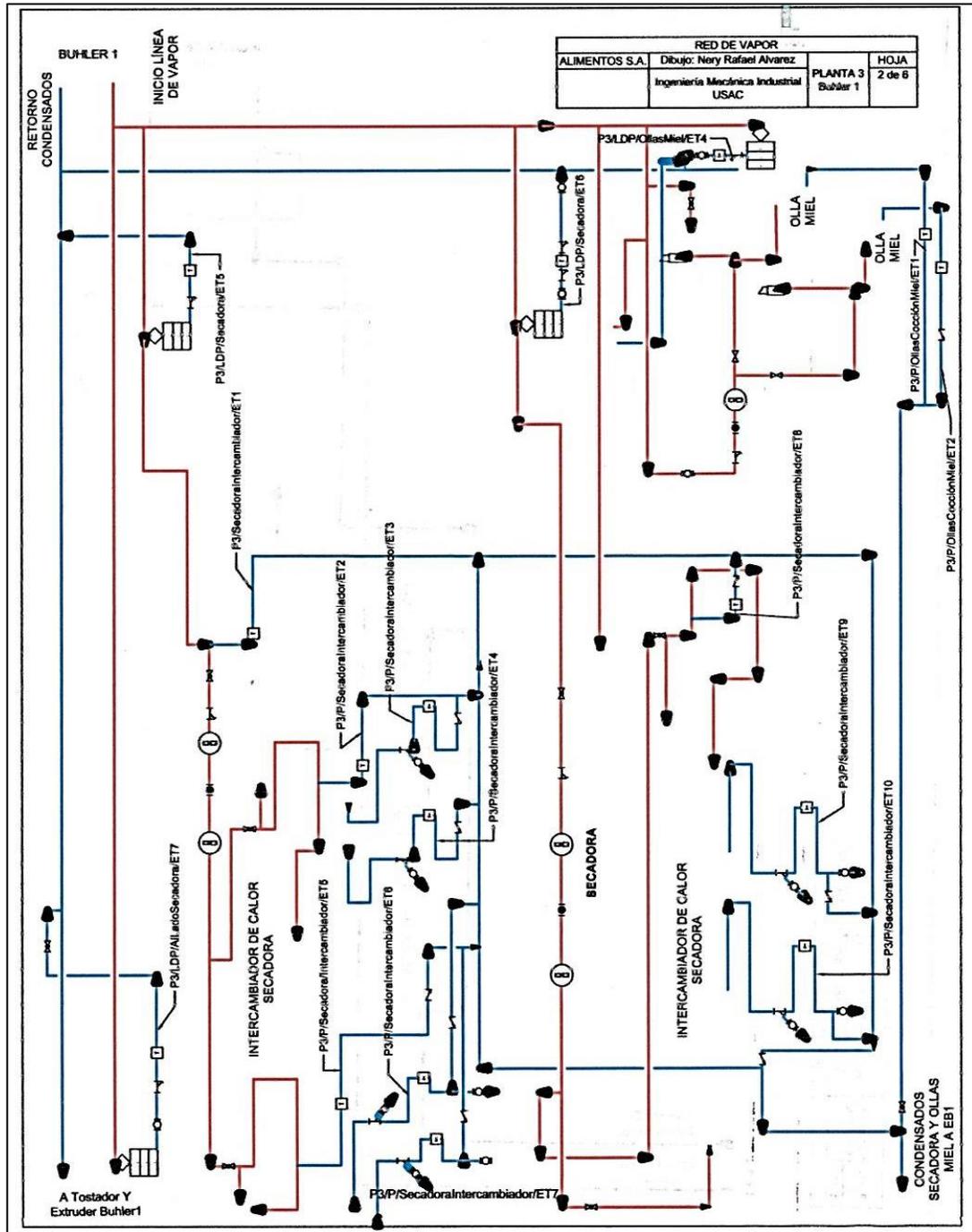
Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD.

Figura 110. **Plano de red de distribución de vapor a bodega de producto terminado a planta 3**



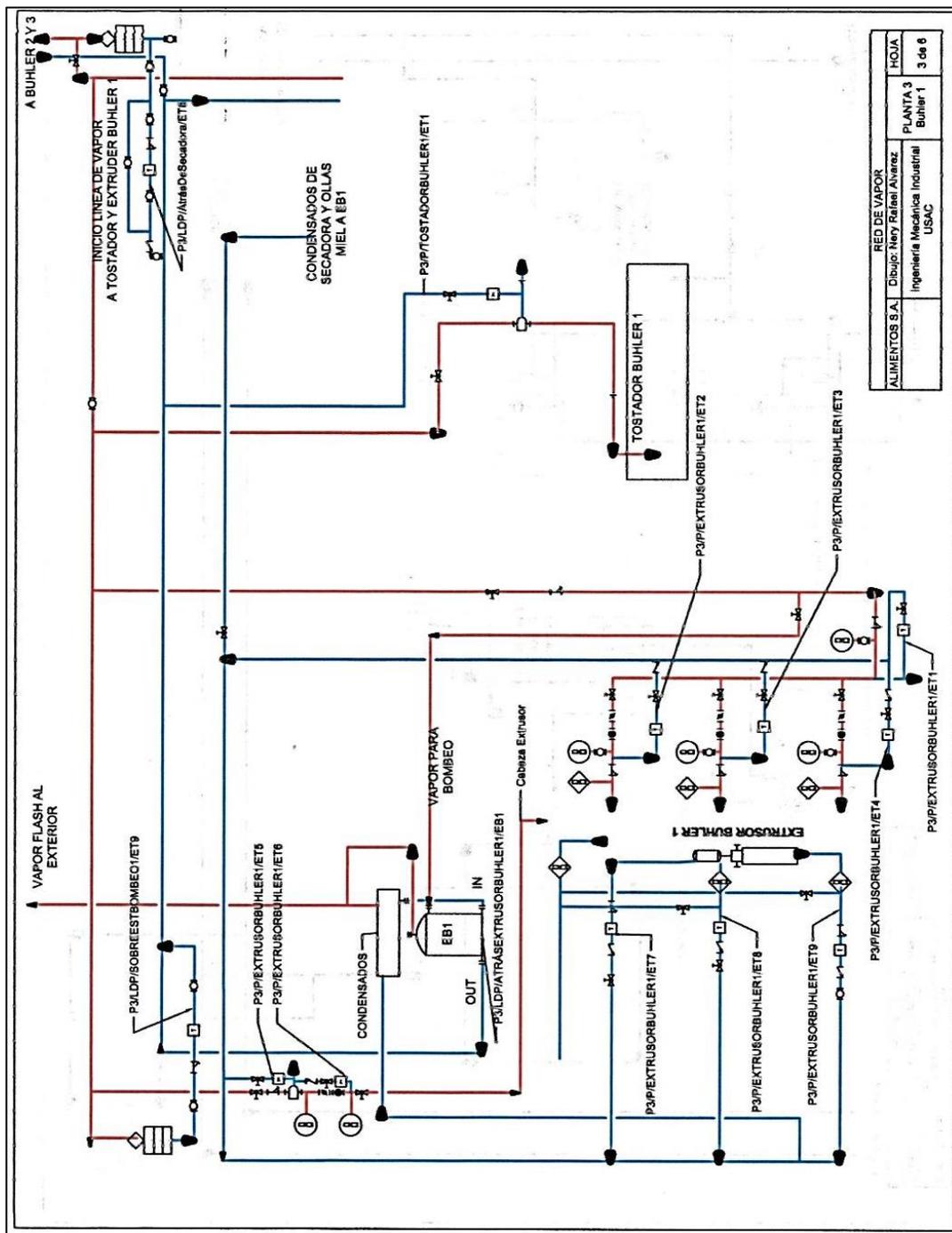
Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD.

Figura 111. Plano de red de distribución de vapor, planta 3, buhler 1 a)



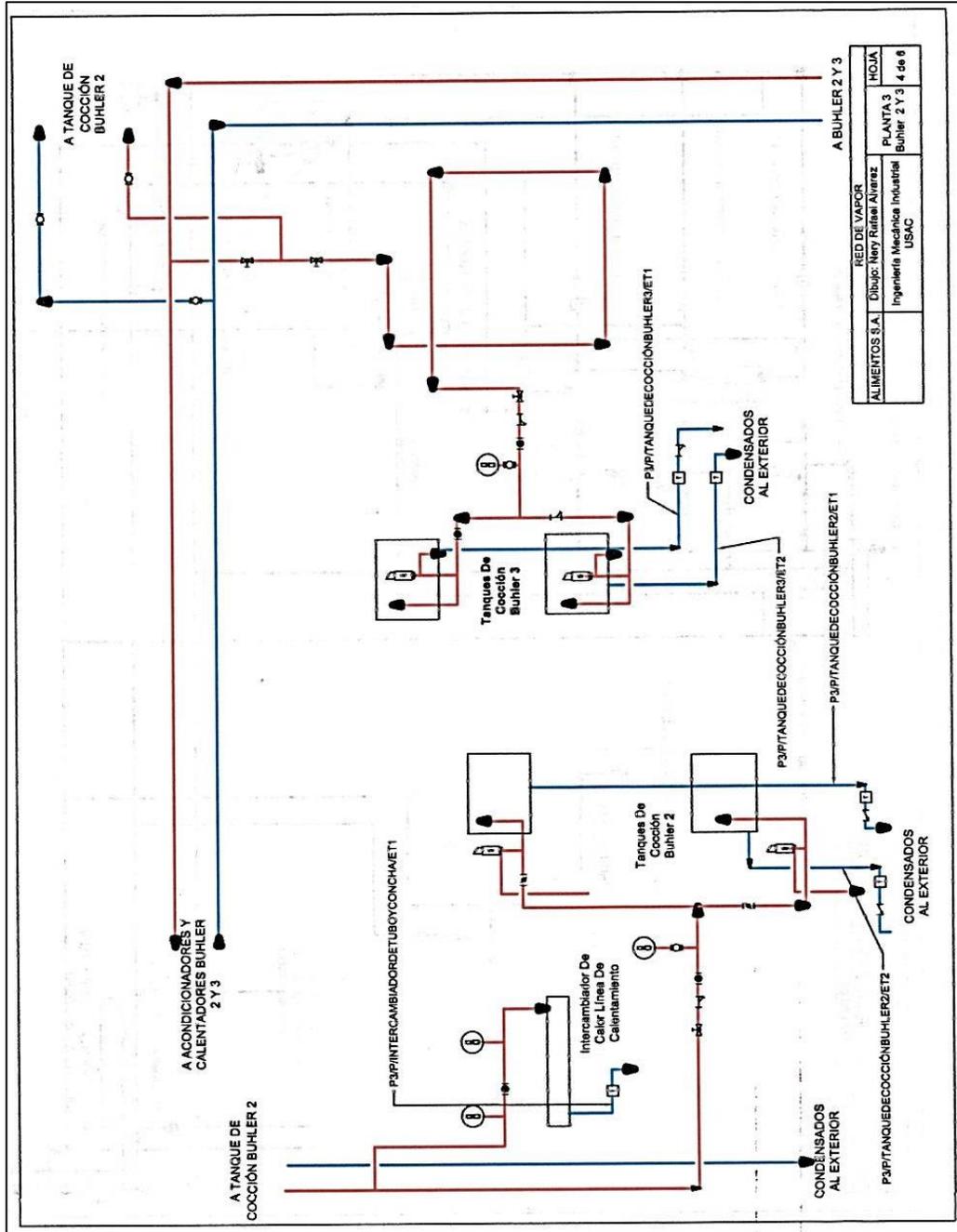
Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD.

Figura 112. Plano de red de distribución de vapor, planta 3, buhler 1 b)



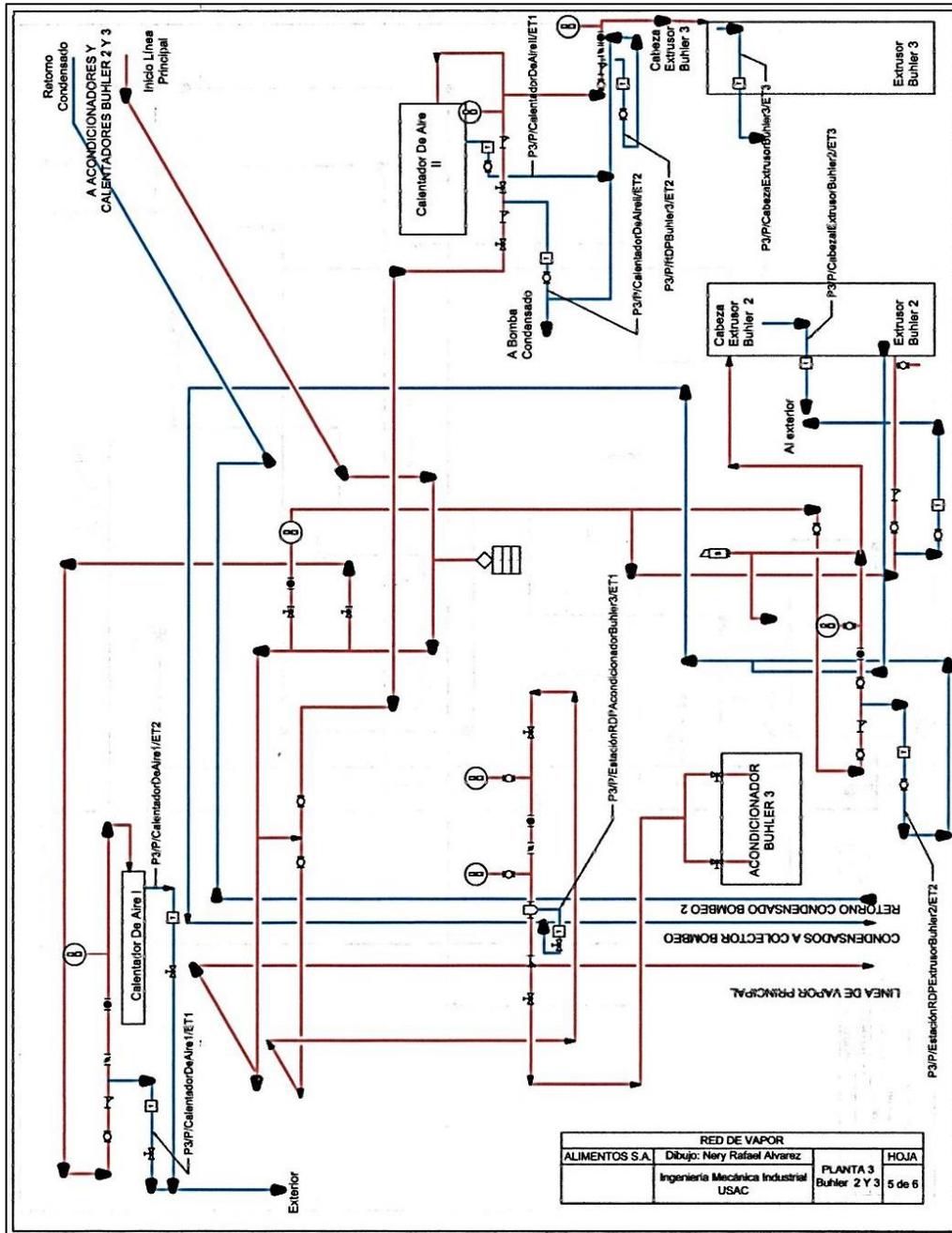
Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD.

Figura 113. Plano de red de distribución de vapor, planta 3, buhler 2 y 3 a)



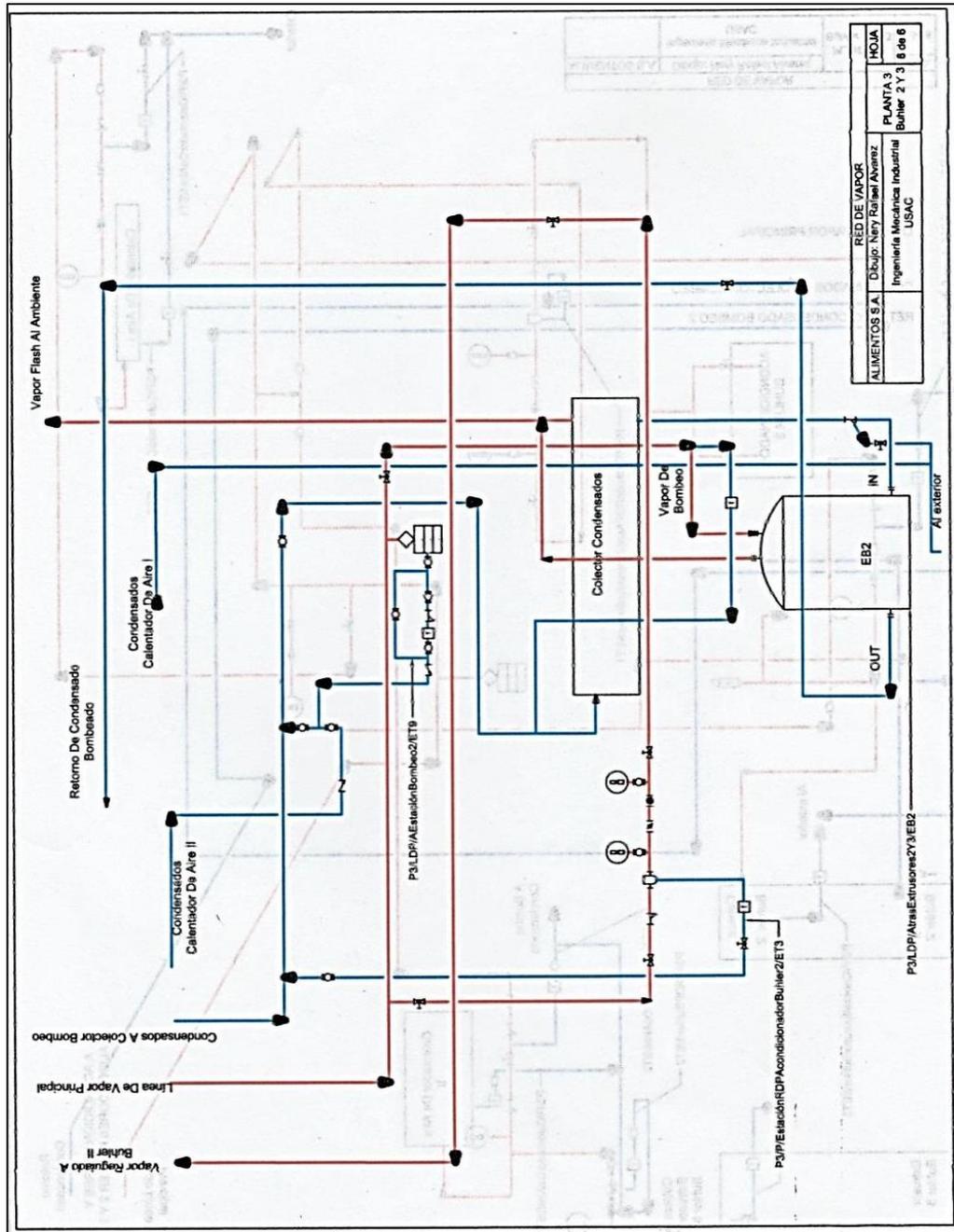
Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD.

Figura 114. Plano de red de distribución de vapor, planta 3, buhler 2 y 3 b)



Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD.

Figura 115. Plano de red de distribución de vapor, planta 3, buhler 2 y 3 c)



Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD.

## **5.2. Mantenimiento preventivo**

Es el destinado a la conservación de equipos o instalaciones mediante realización de revisión y reparación que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad. El mantenimiento preventivo se realiza en equipos en condiciones de funcionamiento, por oposición al mantenimiento correctivo que repara o pone en condiciones de funcionamiento aquellos que dejaron de funcionar o están dañados.

### **5.2.1. Codificación de los elementos de la red de vapor**

En las siguientes tablas se explicará el proceso de codificación de los elementos de la red de vapor.

Tabla XXXIII. Codificación de los elementos de la red de planta 1

INVENTARIO COMPONENTES EN LA RED DE VAPOR					
Planta	Referencia	Ubicación	Identificación	Componentes	
PLANTA 1	Nivel 1	Linea de distribución principal	P1/EN1/LDP/ET1	Trampa Termodinámica	
				Filtro	
					Pierna colectora
					Válvula de bola
					Válvula de globo
		Secadora Wenger X200-2	P1/EN3/PSecadoX200-2/ET2	Trampa de Balde Invertido	
					Válvula Check
		Secadora Wenger X200-2	P1/EN3/PSecadoX200-2/ET3	Trampa Termostática	
		Secadora Wenger X200-2	P1/EN3/PSecadoX200-2/ET4	Trampa de Balde Invertido	
					Válvula Check
		Secadora Wenger X200-2	P1/EN3/PSecadoX200-2/ET5	Válvula Check	
		Secadora Wenger X200-2	P1/EN3/PSecadoX200-2/ET6	Válvula Check	
		Secadora Wenger X200-2	P1/EN3/PSecadoX200-2/ET7	Trampa de Balde Invertido	
					Válvula Check
		Secadora Wenger X200-1	P1/EN3/PSecadoX200-1/ET8	Trampa Termostática	
					Válvula Check
		Secadora Wenger X200-1	P1/EN3/PSecadoX200-1/ET9	Trampa de Balde Invertido	
					Válvula Check
		Secadora Wenger X200-1	P1/EN3/PSecadoX200-1/ET10	Trampa Termostática	
					Válvula Check
	Secadora Wenger X200-1	P1/EN3/PSecadoX200-1/ET11	Trampa de Balde Invertido		
				Válvula Check	
	Secadora Wenger X200-1	P1/EN3/PSecadoX200-1/ET12	Trampa de Balde Invertido		
				Válvula Check	
	Secadora Wenger X200-1	P1/EN3/PSecadoX200-1/ET13	Válvula Check		
	Secadora Wenger X200-2	P1/EN4/PSecadoX200-2/ET14	Trampa Termostática		
				Filtro	
	Secadora Wenger X200-2	P1/EN4/PSecadoX200-2/ET15	Trampa Termostática		
				Filtro	
	Secadora Wenger X200-2	P1/EN4/PSecadoX200-2/ET16	Trampa Termostática		
				Filtro	
	Secadora Wenger X200-2	P1/EN4/PSecadoX200-2/ET17	Trampa de Balde Invertido		
				Trampa Termostática	
				Válvula de globo	
	Secadora Wenger X200-2	P1/EN4/PSecadoX200-2/ET18	Trampa Termostática		
				Trampa Termostática	
				Filtro	
				Válvula de globo	
	Secadora Wenger X200-2	P1/EN4/PSecadoX200-2/ET19	Trampa Termostática		
				Trampa Termodinámica	
	Secadora Wenger X200-1	P1/EN4/PSecadoX200-1/ET20	Trampa Termostática		
				Filtro	
				Válvula Check	
	Secadora Wenger X200-1	P1/EN4/PSecadoX200-1/ET21	Trampa Termostática		
				Filtro	
				Válvula Check	
	Secadora Wenger X200-1	P1/EN4/PSecadoX200-1/ET22	Trampa Termostática		
				Filtro	
				Válvula Check	
	Secadora Wenger X200-1	P1/EN4/PSecadoX200-1/ET23	Trampa Termostática		
				Trampa Termostática	
				Válvula de globo	
	Secadora Wenger X200-1	P1/EN4/PSecadoX200-1/ET24	Trampa Termostática		
				Trampa Termostática	
				Válvula de globo	
	Secadora Wenger X200-1	P1/EN4/PSecadoX200-1/ET25	Trampa Termostática		
				Trampa Termostática	
				Válvula de globo	
	Hojelador	P1/EN5/PHOJUELADOR/ET26	Trampa Termodinámica		
				Válvula de globo	
	Acondicionador	P1/EN5/PAcondicionador/ET27	Trampa de Balde Invertido		
				Válvula Check	
	Extruder 2 Acondicionador	P1/EN6/PExtruderX200-2/ET28	Trampa Termodinámica		
				Válvula de globo	
	Extruder 2 Mezcladora Agua	P1/EN6/PExtruderX200-2/ET29	Trampa Termodinámica		
				Válvula de globo	
	Extruder 2 a Cabeza	P1/EN6/PExtruderX200-2/ET30	Trampa Termodinámica		
				Trampa Termodinámica	
	Extruder 1 Acondicionador	P1/EN6/PExtruderX200-1/ET31	Trampa de Flotador y Termostato		
				Válvula de globo	
	Extruder 1 Estadios	P1/EN6/PExtruderX200-1/ET32	Trampa Termodinámica		
	Extruder 1 Mezcladora Agua	P1/EN6/PExtruderX200-1/ET33	Trampa Termodinámica		
				Filtro	
				Válvula de globo	
	Salida Cabeza Extruder 1	P1/EN6/PExtruderX200-1/ET34	Trampa Flotador&Termostato		
	Al lado de Ducto Del Hojelador	P1/EN6/PDuctoHojelador/ET1	Trampa Termodinámica		

Continuación de tabla XXXIII.

INVENTARIO COMPONENTES EN LA RED DE VAPOR					
Planta	Referencia	Ubicación	Identificación	Componentes	
PLANTA 2	LíneaDeDistribuciónPrincipal	Area De Producto Terminado	P2/LDP/AProductoTerminado/ET1	Trampa Termodinámica Pierna Colectora 3 Válvula De Globo Filtro	
	LíneaDeDistribuciónPrincipal	Arriba del final de línea de fritura Pellets 1	P2/LDP/ArribaDeLíneaTortillita/ET2	Trampa Termodinámica Pierna Colectora 3 Válvula De Bola Filtro	
	LíneaDeDistribuciónPrincipal	Línea De Extruidos Horneados	P2/P/LíneaDeExtruidosHorneados/ET3	Trampa Termodinámica	
	LíneaCalentamientoDeAceite	IntercambiadorDeCalorALíneaAceite	P2/P/BombeoLíneaTracerPAceite/ET4	Trampa Termodinámica Filtro Válvula De Bola	
		Ollas	P2/P/OllasSabor/ET5	Trampa Termodinámica Válvula De Bola Filtro	
		Ollas	P2/P/OllasSabor/ET6	Trampa Termostática	
	Ollas Cocción Maiz	Al Final De La Tubería De Distribución Principal	P2/LDP/OllasDeCocciónMaiz/ET7	Trampa Termodinámica	
	Ollas Cocción Maiz	En la salida de olla cocción Maiz	P2/LDP/OllasDeCocciónMaiz/ET8	Trampa Flotador Y Termostato	
	TANQUES DE ACEITE	Area Rampa	Línea De Distribución Principal	AreaDRampa/LDP/ATanquesDAceite/ET1	Trampa Termodinámica Pierna Colectora Filtro 5 Válvula De Bola
		A Taller	Línea De Distribución Principal	Ataller/LDP/TanquesDeAceite/ET2	Trampa Termodinámica Pierna Colectora 5 Válvulas De Bola 2 Filtros
		Atrás De Tanques De Aceite	Línea De Distribución Principal	AtrásDeTanquesDeAceite/LDP/AIntercambiadorDeCalor/ET3	Trampa Termodinámica Pierna Colectora 5 Válvulas De Bola Filtro
		Tanques De Aceite	Salida De IntercambiadorDeCalor	TanquesDeAceite/P/SalidaIntercambiador/ET4	Trampa Termostática Trampa Termodinámica Válvula De Globo 3 Válvula De Bola 2 Filtros

Continuación de tabla XXXIII.

INVENTARIO COMPONENTES EN LA RED DE VAPOR				
Planta	Referencia	Ubicación	Identificación	Componentes
PLANTA 3	Producto Terminado	Línea Distribución Principal	P3/PlmTerminado,DP/ET1	Válvula de bola
				Filtro
				Trampa Termodinámica
				Válvula de bola
	Producto Terminado	Línea Distribución Principal	P3/PlmTerminado,DP/ET2	Válvula de bola
				Filtro
				Trampa Termodinámica
				Válvula de globo
	Producto Terminado	Línea Distribución Principal	P3/PlmTerminado,DP/ET3	Válvula de bola
				Filtro
				Trampa Termodinámica
				Válvula de globo
	Ollas de cocción miel	Línea Distribución Principal	P3/LDP/OllasMiel/ET4	Filtro
				Trampa Termodinámica
				Válvula de bola
	Ollas de cocción miel	Debajo de ollas de cocción miel	P3/P/OllasCocciónMiel/ET1	Trampa Termodinámica
				Válvula de alivio
	Ollas de cocción miel	Debajo de ollas de cocción miel	P3/P/OllasCocciónMiel/ET2	Trampa Termodinámica
				Filtro
				Válvula de alivio
Secadora Buhler 1	Línea Distribución Principal	P3/LDP/Secadora/ET5	Filtro	
			Trampa Termodinámica	
			Separador	
Secadora Buhler 1	Línea Distribución Principal	P3/LDP/Secadora/ET6	Válvula de bola	
			Filtro	
			Trampa Termodinámica	
			Filtro	
			Válvula de bola	
			Separador	
Al Lado De Secadora	Línea Distribución Principal	P3/LDP/AlLadoDeSecadora/ET7	Válvula de bola	
			Filtro	
			Trampa Termodinámica	
			Válvula de globo	
PLANTA 3	Secadora Buhler 1	Intercambiador de calor	P3/P/Secadora/Intercambiador/ET1	Trampa Termodinámica
	Secadora Buhler 1	Intercambiador de calor	P3/P/Secadora/Intercambiador/ET2	Trampa Termodinámica
	Secadora Buhler 1	Intercambiador de calor	P3/P/Secadora/Intercambiador/ET3	Filtro
				Válvula de Bola
				Trampa Flotador & Termostato
				Válvula de Bola
				Válvula Check
	Secadora Buhler 1	Intercambiador de calor	P3/P/Secadora/Intercambiador/ET4	Filtro
				Válvula de bola
				Trampa Flotador & Termostato
				Válvula de bola
				Válvula Check
	Secadora Buhler 1	Intercambiador de calor	P3/P/Secadora/Intercambiador/ET5	Trampa Termodinámica
				Válvula Check
	Secadora Buhler 1	Intercambiador de calor	P3/P/Secadora/Intercambiador/ET6	Filtro
				Válvula de bola
				Trampa Flotador & Termostato
				Válvula de bola
				Válvula check
	Secadora Buhler 1	Intercambiador de calor	P3/P/Secadora/Intercambiador/ET7	Filtro
			Válvula de Bola	
			Trampa Flotador & Termostato	
			Válvula de Bola	
			Válvula check	
Secadora Buhler 1	Intercambiador de calor	P3/P/Secadora/Intercambiador/ET8	Trampa Termodinámica	
			Válvula Check	
Secadora Buhler 1	Intercambiador de calor	P3/P/Secadora/Intercambiador/ET9	Filtro	
			Válvula de Bola	
			Trampa Flotador & Termostato	
			Válvula de Bola	
			Válvula Check	
Atrás de secadora	Línea Distribución Principal	P3/LDP/AtrásdeSecadora/ET8	Pierna Colectora	
			Válvula de bola	
			Válvula de bola	
			Válvula de bola	
			Válvula de bola	
			Filtro	
			Trampa Termodinámica	
			Válvula Check	
			Válvula de bola	
Secadora Buhler 1	Intercambiador de calor	P3/P/Secadora/Intercambiador/ET10	Filtro	
			Válvula de Bola	
			Trampa Flotador & Termostato	
			Válvula de Bola	
Buhler 1	Tostador	P3/P/Tostador/Buhler1/ET1	Separador	
			Trampa Flotador & Termostato	
			Válvula Globo	
Buhler 1	Extrusor	P3/P/Extrusor/Buhler1/ET1	Trampa Termodinámica	
			Válvula de globo	
Buhler 1	Extrusor	P3/P/Extrusor/Buhler1/ET2	Trampa Termodinámica	
			Válvula de globo	
			Válvula Check	
Buhler 1	Extrusor	P3/P/Extrusor/Buhler1/ET3	Trampa Termodinámica	
			Válvula de globo	
			Válvula Check	
Buhler 1	Extrusor	P3/P/Extrusor/Buhler1/ET4	Trampa Termodinámica	
			Válvula de globo	
			Válvula Check	
Buhler 1	Extrusor	P3/P/Extrusor/Buhler1/ET5	Separador	
			Trampa Termodinámica	
			Válvula de globo	
Buhler 1	Extrusor	P3/P/Extrusor/Buhler1/ET6	Trampa Termodinámica	
			Válvula de globo	
			Válvula Check	
Buhler 1	Extrusor	P3/P/Extrusor/Buhler1/ET7	Válvula de globo	
			Válvula Check	
			Trampa Balde Invertido	
			Filtro	
Buhler 1	Extrusor	P3/P/Extrusor/Buhler1/ET8	Válvula de globo	

Continuación de tabla XXXIII.

	NUMERO	DESCRIPCION	IDENTIFICACION	VALORES MEDIDOS
PLANTA 3				Válvula Check
				Trampa Balde Invertido
				Filtro
	Buhler 1	Extrusor	P3/P/Extrusor/Buhler1/ET9	Válvula de Bola
				Válvula Check
				Trampa Balde Invertido
				Filtro
	Atrás De Extrusor Buhler 1	Arriba De Estación Bombeo 1 LDP	P3/LDP/ArribaEstaciónBombeoBuhler1/ET9	Válvula de globo
				Filtro
				Trampa Termodinámica
				Válvula de bola
	Buhler 1	Atrás de extrusor	P3/LDP/AtrásExtrusor/Buhler1/EB1	Bomba Spirax Sarco
	Buhler 3	Tanque de cocción	P3/P/TanqueDeCocción/Buhler3/ET1	Válvula De Alivio
				Trampa de Flotador & Termostato
				Válvula Check
	Buhler 3	Tanque de cocción	P3/P/TanqueDeCocción/Buhler3/ET2	Válvula De Alivio
				Trampa de Flotador & Termostato
				Válvula Check
	Buhler 2	Tanque de cocción	P3/P/TanqueDeCocción/Buhler2/ET1	Válvula De Alivio
				Trampa de Flotador & Termostato
			Válvula Check	
Buhler 2	Tanque de cocción	P3/P/TanqueDeCocción/Buhler2/ET2	Válvula De Alivio	
			Trampa de Flotador & Termostato	
			Válvula Check	
Entre Tanque De Cocción Buhler 2 y 3	Intercambiador de calor	P3/P/IntercambiadorDeTuboYConcha/ET1	Trampa Termodinámica	
Atrás de acondicionador Buhler 2	Calentador de aire	P3/P/CalentadorDeAire1/ET1	Trampa Flotador & Termostato	
Atrás de acondicionador Buhler 2	Calentador de aire	P3/P/CalentadorDeAire1/ET2	Válvula de Bola	
Estación reguladora de presión	Acondicionador Buhler 3	P3/P/EstaciónRDPAcondicionadorBuhler3/ET1	Trampa Flotador & Termostato	
			Separador	
			Válvula de Globo	
Buhler 2	Extrusor	P3/P/EstaciónRDPExtrusorBuhler2/ET2	Trampa Termostática	
			Válvula de Bola	
PLANTA 3	Buhler 2	Cabezal Extrusor	P3/P/CabezalExtrusorBuhler2/ET3	Trampa Flotador & Termostato
	Al lado acondicionador Buhler 3	Calentador de aire	P3/P/CalentadorDeAire1/ET1	Trampa Flotador & Termostato
				Válvula de Bola
	Al lado acondicionador Buhler 3	Calentador de aire	P3/P/CalentadorDeAire1/ET2	Trampa Flotador & Termostato
				Válvula de Bola
	Buhler 3	Extrusor	P3/P/RegulaciónDePresiónBuhler3/ET2	Trampa Termostática
				Válvula de Bola
	Buhler 3	Extrusor	P3/P/CabezalExtrusorBuhler3/ET3	Trampa Flotador & Termostato
	Estación reguladora de presión	Acondicionador Buhler 2	P3/P/EstaciónRDPAcondicionadorBuhler2/ET3	Trampa Flotador & Termostato
				Separador
				Válvula de Globo
	Línea De Distribución Principal	Estación De Bombeo	P3/LDP/AEstaciónDeBombeo2/ET9	Trampa Termodinámica
				Pierna Colectora
				Válvula de Bola
				Válvula de Bola
			Válvula de Bola	
			Filtro	
			Válvula Check	
Atrás Extrusores 2 Y 3	Estación De Bombeo	P3/LDP/AtrásExtrusores2y3/EB2	Bomba Spirax Sarco	
			Trampa Termodinámica	

INVENTARIO COMPONENTES EN LA RED DE VAPOR				
Planta	Referencia	Ubicación	Identificación	Componentes
CUARTO DE CALDERAS	Cuarto De Calderas	CabezalDeDistribución Principal	CabezalPrincipal/CuartoDeCalderas/ET1	Trampa Balde Invertido
				Pierna Colectora
				2 Válvula De Bola
				Filtro
				Válvula Check
	Cuarto De Calderas	CabezalDeDistribución Principal	CabezalPrincipal/CuartoDeCalderas/ET2	Trampa Balde Invertido
				Pierna Colectora
				3 Válvulas De Bola
				Filtro
				Válvula Check
	Cuarto De Calderas	Línea De Distribución Principal A Planta 1y2	LDP/APlanta1y2/CuartoDeCalderas/ET3	Trampa Termodinámica
				Válvula de Bola
				Filtro
				2 Válvulas De Bola
	Cuarto De Calderas	Línea De Distribución Principal A Planta 3	LDP/APlanta3/CuartoDeCalderas/ET4	Trampa Termodinámica
			Filtro	
			2 Válvula De Bola	
Cuarto De Calderas	Tanque Bunker	TanqueBunker/CuartoDeCalderas/ET5	Trampa Termodinámica	
			Válvula Check	
Cuarto De Calderas	Salida Intercambiador de calor Bunker Despues De La Bomba	IntercambiadorCalorBunker/AIngresoCaldera/ET5	Trampa Balde Invertido	

Fuente: elaboración propia.

## 5.2.2. Determinación de las actividades de mantenimiento preventivo para los elementos de la red de vapor

A continuación se explicará la determinación de las actividades de mantenimiento preventivo para los elementos de la red de vapor.

Tabla XXXIV. **Actividades de mantenimiento preventivo elementos de la red de vapor**

Planta	REFERENCIA	UBICACIÓN	ELEMENTO DE LA RED	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	FRECUENCIA
Cuarto de calderas	Cuarto de calderas	Brida de conexión válvula principal distribución a planta 3	Bridas de acoplamiento	Revisión de empaque y apretar tornillos	Semestral
Planta 1	Nivel 5	Válvula reguladora en acondicionador	Válvula reguladora de compuerta	Cambio de Válvula	Anual
Planta 2	Linea Calentamiento De Aceite	Entrada principal a intercambiador de calor a línea aceite	Soldaduras unión de tuberías	Revisión uniones soldadas, donde exista fuga pulir y soldar.	Anual
Planta 3	Buhler 3	Válvula de alivio defectuosa tanque de cocción	Válvula de alivio	Cambio de válvula	Anual
Planta 3	Buhler 3	Denegación tubería colgante a ollas válvula defectuosa	Válvula de bola	Cambio de válvula	Anual

PLANTA	REFERENCIA	UBICACIÓN	ELEMENTO DE LA RED	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	FRECUENCIA
Planta 1	Nivel 5	Hojuelador	Trampa de vapor termodinámica	Retirar tapa. Limpiar disco y superficie de asiento.	Anual
Planta 1	Nivel 6	Extruder 2 a Cabeza	Eliminación de tuberías muertas	Revisión de tubería que conduce vapor y no se utiliza, eliminar.	Anual
Planta 3	Linea De Distribución Principal	Colector Estación De Bombeo	Trampa de vapor termodinámica	Retirar tapa. Limpiar disco y superficie de asiento.	Anual

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Actividades de mantenimiento preventivo en las trampas de vapor**

ELEMENTO DE LA RED	DIÁMETRO DEL ORIFICIO	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	FRECUENCIA
Trampa de Balde Invertido	1/4 Pulgada	Sustituir los componentes de trabajo. El kit contiene palanca, asiento y balde.	Anual
Válvula Check	1/4 Pulgada	Cambio de Válvula	Anual
Trampa de Balde Invertido	1/4 Pulgada	Sustituir los componentes de trabajo. El kit contiene palanca, asiento y balde.	Anual
Trampa Termostática	1/4 Pulgada	Si la trampa falla, sustituya componentes internos, termostato, asiento y junta.	Anual
Trampa Termodinámica	1/4 Pulgada	Retirar tapa. Limpiar disco y superficie de asiento.	Anual
Trampa Termodinámica	1/4 Pulgada	Retirar tapa. Limpiar disco y superficie de asiento.	Anual
Trampa Termodinámica	1/4 Pulgada	Retirar tapa. Limpiar disco y superficie de asiento.	Anual
Trampa Termodinámica	1/4 Pulgada	Retirar tapa. Limpiar disco y superficie de asiento.	Anual
Trampa Termodinámica	1/4 Pulgada	Retirar tapa. Limpiar disco y superficie de asiento.	Anual
Trampa Termodinámica	1/4 Pulgada	Retirar tapa. Limpiar disco y superficie de asiento.	Anual
Trampa Termodinámica	1/4 Pulgada	Retirar tapa. Limpiar disco y superficie de asiento.	Anual
Trampa de Flotador & Termostato	1/4 Pulgada	Todos los componentes internos pueden ser cambiados. Venteador termostático de aire, flotador, asiento de válvula.	Anual

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Actividades de mantenimiento preventivo en las estaciones de bombeo condensado**

UBICACIÓN	ELEMENTO DE LA RED	DIÁMETRO DEL ORIFICIO	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	FRECUENCIA	
Estación De Bombeo 1	P3/LDP/A/riba/Estación/Bombeo/Buhler/1/ET9	Trampa Termodinámica	1/2 Pulgada	Retirar tapa, Limpiar disco y superficie de asiento.	Anual
Estación De Bombeo 2	P3/LDP/A/rás/Extrusores/3/EB2	Trampa Termodinámica	1/2 Pulgada	Retirar tapa, Limpiar disco y superficie de asiento.	Anual
Estación De Bombeo 1		Bomba de condensados.		Revisar contador de ciclo de la bomba, aislamiento termico, visor de nivel	Mensual
Estación De Bombeo 2		Bomba de condensados.		Revisar contador de ciclo de la bomba, aislamiento termico, visor de nivel	Mensual

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Actividades de mantenimiento preventivo aislante térmico en la red de distribución de vapor**

UBICACIÓN	ELEMENTO DE LA RED	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	FRECUENCIA
Tubería de distribución de vapor	Aislante termico	Revisar aislante, sustituir lana mineral.	Semestral
Tubería de retorno de condensados	Aislante termico	Revisar aislante, sustituir lana mineral.	Semestral
Red de distribución de vapor y retorno de condensados	Filtros tipo Y	Revisar instalación correcta en dirección al flujo tal como se indica en el cuerpo del mismo. Realizar limpieza.	Semestral
Red de distribución de vapor y retorno de condensados	Eliminador de aire	Revisar el funcionamiento del cierre hermético. Una válvula de aislamiento se debe instalar para facilitar su reemplazo. La unidad es no reparable.	Anual
Red de distribución de vapor y retorno de condensados	Rompedor de vacío	Verificar cierre hermético. No debe escapar vapor o agua.	Anual

Fuente: elaboración propia.

### 5.2.3. Mantenimiento y prueba de trampas

Para dar inicio a un mantenimiento preventivo para las trampas de vapor es necesario disponer de equipo especializado, de manera que sea posible la revisión de temperatura y sonido de las trampas. Debido a que todo equipo mecánico está sujeto a desgaste necesariamente requerirá de mantenimiento. Dentro de los métodos utilizados para la revisión de trampas de vapor se encuentra la inspección visual, revisión de temperatura y análisis auditivo. Lo ideal sería la combinación de ambos métodos.

Tabla XXXVIII. Rutina de mantenimiento en las estaciones de trampeo, planta 1

MANTENIMIENTO Y PRUEBA DE TRAMPAS												
Planta	Referencia	Ubicación	Identificación	Sistema De Trampeo	Temperatura		Análisis Termografía		Inspección Visual Y Auditiva		Anotaciones	
					Entrada	Salida	Bueno	Malo	Bueno	Malo		
PLANTA 1	Nivel 1	Linea de distribución principal	P1/EN1/LDP/ET1	Trampa Termodinamica								
				Filtro								
				Válvula de bola								
				Válvula de globo								
	Nivel 3	Secadora Wenger X200-2	P1/EN3/PSecadoX200-2/ET2	Trampa de Balde Invertido								
				Válvula Check								
		Secadora Wenger X200-2	P1/EN3/PSecadoX200-2/ET3	Trampa Termostática								
		Secadora Wenger X200-2	P1/EN3/PSecadoX200-2/ET4	Trampa de Balde Invertido								
				Válvula Check								
		Secadora Wenger X200-2	P1/EN3/PSecadoX200-2/ET5	Válvula Check								
		Secadora Wenger X200-2	P1/EN3/PSecadoX200-2/ET6	Válvula Check								
		Secadora Wenger X200-2	P1/EN3/PSecadoX200-2/ET7	Trampa de Balde Invertido								
				Válvula Check								
		Secadora Wenger X200-1	P1/EN3/PSecadoX200-1/ET8	Trampa Termostática								
				Válvula Check								
		Secadora Wenger X200-1	P1/EN3/PSecadoX200-1/ET9	Trampa de Balde Invertido								
				Válvula Check								
		Secadora Wenger X200-1	P1/EN3/PSecadoX200-1/ET10	Trampa Termostática								
				Válvula Check								
		Secadora Wenger X200-1	P1/EN3/PSecadoX200-1/ET11	Trampa de Balde Invertido								
				Válvula Check								
		Secadora Wenger X200-1	P1/EN3/PSecadoX200-1/ET12	Trampa de Balde Invertido								
				Válvula Check								
		Secadora Wenger X200-1	P1/EN3/PSecadoX200-1/ET13	Válvula Check								
	Secadora Wenger X200-2	P1/EN4/PSecadoX200-2/ET14	Trampa Termostática									
			Filtro									
	Secadora Wenger X200-2	P1/EN4/PSecadoX200-2/ET15	Trampa Termostática									
			Filtro									
	Secadora Wenger X200-2	P1/EN4/PSecadoX200-2/ET16	Trampa Termostática									
			Filtro									
	Secadora Wenger X200-2	P1/EN4/PSecadoX200-2/ET17	Trampa de Balde Invertido									
			Trampa Termostática									
			Válvula de globo									
	Secadora Wenger X200-2	P1/EN4/PSecadoX200-2/ET18	Trampa Termostática									
			Trampa Termostática									
			Filtro									
			Válvula de globo									
	Secadora Wenger X200-2	P1/EN4/PSecadoX200-2/ET19	Trampa Termostática									
	Secadora Wenger X200-1	P1/EN4/PSecadoX200-1/ET20	Trampa Termodinámica									
			Trampa Termostática									
			Filtro									
			Válvula Check									
	Secadora Wenger X200-1	P1/EN4/PSecadoX200-1/ET21	Trampa Termostática									
			Filtro									
			Válvula Check									
	Secadora Wenger X200-1	P1/EN4/PSecadoX200-1/ET22	Trampa Termostática									
			Filtro									
			Válvula Check									
Secadora Wenger X200-1	P1/EN4/PSecadoX200-1/ET23	Trampa Termostática										
		Trampa Termostática										
		Válvula de globo										
Secadora Wenger X200-1	P1/EN4/PSecadoX200-1/ET24	Trampa Termostática										
		Trampa Termostática										
		Válvula de globo										
Secadora Wenger X200-1	P1/EN4/PSecadoX200-1/ET25	Trampa Termostática										
		Trampa Termostática										
		Válvula de globo										
		Hojuelador	P1/EN5/PHOJUELADOR/ET26	Trampa Termodinamica								
		Válvula de globo										
		Acondicionador	P1/EN5/PAcondicionador/ET27	Trampa de Balde Invertido								
		Válvula Check										
		Extruder 2 Acondicionador	P1/EN6/PExtruderX200-2/ET28	Trampa Termodinamica								
		Válvula de globo										
		Extruder 2 Mezcladora Agua	P1/EN6/PExtruderX200-2/ET29	Trampa Termodinamica								
		Válvula de globo										
		Extruder 2 a Cabeza	P1/EN6/PExtruderX200-2/ET30	Trampa Termodinamica								
		Trampa Termodinamica										
		Extruder 1 Acondicionador	P1/EN6/PExtruderX200-1/ET31	Trampa de Flotador y Termostato								
		Válvula de globo										
		Extruder 1 Estadios	P1/EN6/PExtruderX200-1/ET32	Trampa Termodinamica								
		Extruder 1 Mezcladora Agua	P1/EN6/PExtruderX200-1/ET33	Trampa Termodinamica								
		Filtro										
		Válvula de globo										
		Salida Cabeza Extruder 1	P1/EN6/PExtruderX200-1/ET34	Trampa Flotador&Termostato								
		Al lado de Ducto Del Hojuelador	P1/EN6/P/DuctoHojuelador/ET1	Trampa Termodinamica								

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIX. Rutina de mantenimiento en las estaciones de trampeo, planta 2

Planta	Referencia	Ubicación	Identificación	Componentes	Temperatura		Análisis Termografía		Inspección Visual Y Auditiva		Anotaciones
					Entrada	Salida	Bueno	Malo	Bueno	Malo	
PLANTA 2	LíneaDeDistribuciónPrincipal	Area De Producto Terminado	P2/LDP/AProductoTerminado/ET1	Trampa Termodinámica							
				3 Válvula De Globo							
				Filtro							
	LíneaDeDistribuciónPrincipal	Arriba del final de línea de fritura Pellets 1	P2/LDP/ArribaDeLineaTortillita/ET2	Trampa Termodinámica							
				3 Válvula De Bola							
				Filtro							
	LíneaDeDistribuciónPrincipal	Línea De Extruidos Homeados	P2/P/LíneaDeExtruidosHomeados/ET3	Trampa Termodinámica							
	LíneaCalentamientoDeAceite	IntercambiadorDeCalorALíneaAceite	P2/P/BombeoLineaTracerPAceite/ET4	Trampa Termodinámica							
				Filtro							
		Ollas	P2/P/OllasSabor/ET5	Trampa Termodinámica							
				Válvula De Bola							
				Válvula De Bola							
		Ollas	P2/P/OllasSabor/ET6	Trampa Termostática							
		Ollas Cocción Maíz	Al Final De La Tubería De Distribución Principal	P2/LDP/OllasDeCocciónMaíz/ET7	Trampa Termodinámica						
	Ollas Cocción Maíz	En la salida de olla cocción Maíz	P2/LDP/OllasDeCocciónMaíz/ET8	Trampa Flotador Y Termostato							
	Area Rampa	Línea De Distribución Principal	AreaRampa/LDP/ATanquesDAceite/ET1	Trampa Termodinámica							
				Filtro							
				5 Válvula De Bola							
	A Taller	Línea De Distribución Principal	Ataller/LDP/TanquesDeAceite/ET2	Trampa Termodinámica							
				Pierna Colectora							
			5 Válvulas De Bola								
			2 Filtros								
Atrás De Tanques De Aceite	Línea De Distribución Principal	AtrásDeTanquesDeAceite/LDP/AlntercambiadorDeCalor/ET3	Trampa Termodinámica								
			5 Válvulas De Bola								
			Filtro								
			Trampa Termostática								
Tanques De Aceite	Salida De IntercambiadorDeCalor	TanquesDeAceite/P/SalidaIntercambiador/ET4	Trampa Termodinámica								
			Válvula De Globo								
			3 Válvula De Bola								
			2 Filtros								

Fuente: elaboración propia.

Tabla XL. Rutina de mantenimiento en las estaciones de trampeo, planta 3

Punto	MANTENIMIENTO Y PRUEBA DE TRAMPEOS									
	Referencia	Ubicación	Identificación	Componentes	Temperatura	Análisis Termografía		Inspección Visual Y Auditiva		Acciones
					Entrada	Salida	Buena	Mal	Buena	Mal
Punto 1.3	Producto Terminado	Línea Distribución Principal	P3PReminadorLDPET1	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Producto Terminado	Línea Distribución Principal	P3PReminadorLDPET2	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Producto Terminado	Línea Distribución Principal	P3PReminadorLDPET3	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Citas de cocción mel	Línea Distribución Principal	P3LDPVasosMerliT4	Filtro						
				Tanque Termodinámico						
				Válvula de bola						
Punto 1.3	Citas de cocción mel	Debajo de citas de cocción mel	P3PPlacaCoccionMerliT1	Tanque Termodinámico						
				Válvula de bola						
				Filtro						
Punto 1.3	Citas de cocción mel	Debajo de citas de cocción mel	P3PPlacaCoccionMerliT2	Tanque Termodinámico						
				Válvula de bola						
				Filtro						
Punto 1.3	Secadora Butir 1	Línea Distribución Principal	P3LDP/SecadoraE16	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Secadora Butir 1	Línea Distribución Principal	P3LDP/SecadoraE16	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Al Lado De Secadora	Línea Distribución Principal	P3LDP/Al lado De SecadoraE17	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Secadora Butir 1	Intercambiador de calor	P3P/SecadoraIntercambiadorE11	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Secadora Butir 1	Intercambiador de calor	P3P/SecadoraIntercambiadorE12	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Secadora Butir 1	Intercambiador de calor	P3P/SecadoraIntercambiadorE13	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Secadora Butir 1	Intercambiador de calor	P3P/SecadoraIntercambiadorE14	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Secadora Butir 1	Intercambiador de calor	P3P/SecadoraIntercambiadorE15	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Secadora Butir 1	Intercambiador de calor	P3P/SecadoraIntercambiadorE16	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Secadora Butir 1	Intercambiador de calor	P3P/SecadoraIntercambiadorE17	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Secadora Butir 1	Intercambiador de calor	P3P/SecadoraIntercambiadorE18	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Secadora Butir 1	Intercambiador de calor	P3P/SecadoraIntercambiadorE19	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Al lado de secadora	Línea Distribución Principal	P3LDP/Al lado de SecadoraE18	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Secadora Butir 1	Intercambiador de calor	P3P/SecadoraIntercambiadorE19	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Al lado de Estación de Bombas	Línea Distribución Principal	P3LDP/Al lado de Estación de BombasE19	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Butir 1	Tanque	P3P/TanqueButirE11	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Butir 1	Estruor	P3PE/estrucButirE11	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Butir 1	Estruor	P3PE/estrucButirE12	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Butir 1	Estruor	P3PE/estrucButirE13	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Butir 1	Estruor	P3PE/estrucButirE14	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Butir 1	Estruor	P3PE/estrucButirE15	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Butir 1	Estruor	P3PE/estrucButirE16	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Butir 1	Estruor	P3PE/estrucButirE17	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Butir 1	Estruor	P3PE/estrucButirE18	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Butir 1	Estruor	P3PE/estrucButirE19	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Al lado de Estación de Bombas 1 LDP	Línea Distribución Principal	P3LDP/Al lado de Estación de BombasE19	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Butir 1	Al lado de estruor	P3LDP/Al lado de estruorE19	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Butir 3	Tanque de cocción	P3P/TanqueCoccionButirE11	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Butir 3	Tanque de cocción	P3P/TanqueCoccionButirE12	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Butir 2	Tanque de cocción	P3P/TanqueCoccionButirE21	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Butir 2	Tanque de cocción	P3P/TanqueCoccionButirE22	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Entra Tanque De Coccion Butir 2 y 3	Intercambiador de calor	P3P/IntercambiadorDeTuboConchaE11	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Al lado de acondicionador Butir 2	Calentador de aire	P3PC/CalentadorAireE11	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Estación reemplazo de presión	Acondicionador Butir 3	P3PE/estacionReemplazoPresionButirE11	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Butir 2	Estruor	P3PE/estrucButirE2E12	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Butir 2	Calentador Estruor	P3PC/CalentadorEstruorE13	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Al lado acondicionador Butir 3	Calentador de aire	P3PC/CalentadorDeAireE12	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Butir 3	Estruor	P3PE/estrucButirE3E12	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Estación reemplazo de presión	Acondicionador Butir 2	P3PE/estacionReemplazoPresionButirE11	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Línea De Distribución Principal	Estación De Bombas	P3LDP/EstacionDeBombasE19	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						
Punto 1.3	Al lado Estacion 2 y 3	Estación De Bombas	P3LDP/Al lado de estacion2y3E12	Válvula de bola						
				Filtro						
				Tanque Termodinámico						

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. Rutina de mantenimiento de las estaciones de trampeo en el cuarto de calderas

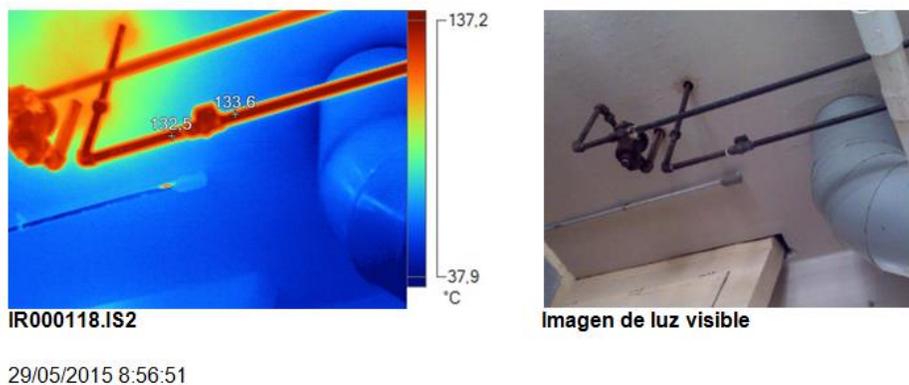
MANTENIMIENTO Y PRUEBA DE TRAMPAS											
Planta	Referencia	Ubicación	Identificación	Componentes	Temperatura		Análisis Termografía		Inspección Visual Y Auditiva		Anotaciones
					Entrada	Salida	Bueno	Malo	Bueno	Malo	
CUARTO DE CALDERAS	Cuarto De Calderas	CabezalDeDistribución Principal	CabezalPrincipalCuartoDeCalderas/ET1	Trampa Balde Invertido							
				Piema Colectora							
				2 Válvula De Bola							
				Filtro							
				Válvula Check							
	Cuarto De Calderas	CabezalDeDistribución Principal	CabezalPrincipalCuartoDeCalderas/ET2	Trampa Balde Invertido							
				Piema Colectora							
				3 Válvulas De Bola							
				Filtro							
				Válvula Check							
	Cuarto De Calderas	Línea De Distribución Principal A Planta1y2	LDP/APlanta1y2/CuartoDeCalderas/ET3	Trampa Termodinámica							
				Válvula de Bola							
			Filtro								
			2 Válvulas De Bola								
Cuarto De Calderas	Línea De Distribución Principal A Planta 3	LDP/APlanta3/CuartoDeCalderas/ET4	Trampa Termodinámica								
			Filtro								
			2 Válvulas De Bola								
Cuarto De Calderas	Tanque Bunker	TanqueBunker/CuartoDeCalderas/ET5	Trampa Termodinámica								
			Válvula Check								
Cuarto De Calderas	Salida Intercambiador de calor Bunker Despues De La Bomba	IntercambiadorCalorBunker/AIngresoCaldera/ET6	Trampa Balde Invertido								

Fuente: elaboración propia.

### 5.2.3.1. Análisis por termografía

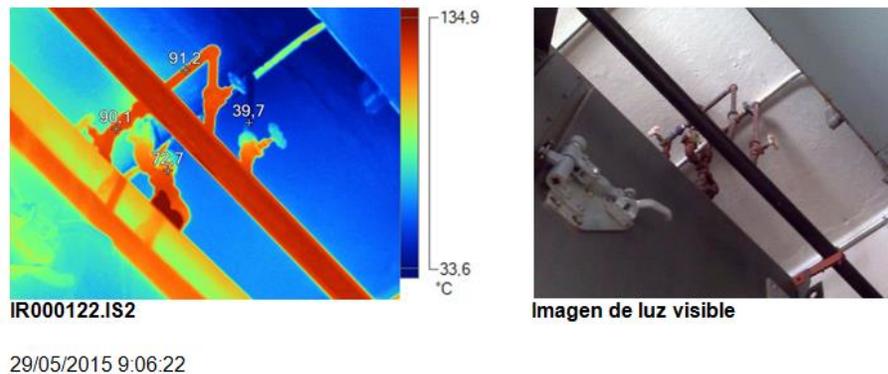
El objetivo principal del análisis por termografía es detectar que las trampas y componentes no estén fugando vapor y que las mismas no se encuentren bloqueadas, evitando la acumulación de condensado, además que el mismo no sea descargado y recuperado. Ver figura 116 y 117.

Figura 116. Termografía válvula *check*



Fuente: Empresa de Alimentos.

Figura 117. **Termografía trampa de balde invertido y termostática**



Fuente: Empresa de Alimentos.

#### 5.1.1.1. **Inspección visual**

Definitivamente la inspección visual es la más simple, aún así, es el primer paso para detectar problemas. Algún hallazgo podría ser la ausencia de descarga de condensado o por el contrario la expulsión de cantidades de vapor vivo, fugándose del sistema por la salida de la trampa. Indicación inmediata de mantenimiento. El análisis visual es mucho más sencillo en sistemas del tipo abierto puesto que es posible abrir la válvula a la salida de la trampa y visualizar el contenido expulsado. En toda la red de distribución y recuperación de condensado se debe realizar una inspección visual para detectar fugas por rupturas, accesorios fallados, juntas y empaques. Al final la confiabilidad que ofrece el diagnóstico correcto por termografía y sonido es la mejor.

#### 5.2.3.2. **Inspección auditiva**

La inspección auditiva es posible realizarla con el estetoscopio SKF TMST3. (ver figura 118).

Figura 118. **Estetoscopio SKF TMST3**



Fuente: SKF. *Estetoscopio*. [www.skf.com/mount](http://www.skf.com/mount). Consulta: octubre de 2015.

Debido a que el condensado al fluir a través de la trampa emite sonido y vibración, de igual forma que lo hace para la apertura y cierre de los mecanismos de las trampas, cuando la trampa está desgastada o sucia el sonido cambia. La experiencia auditiva para diferenciar entre una trampa buena y una mala puede ser un método de determinar las condiciones de las trampas, así también de otros accesorios que forman parte de la red de vapor y retorno de condensado.

La experiencia muestra que una fuga de vapor vivo a través de una trampa tiene un sonido específico al que se le denomina silbido. La idea al utilizar estetoscopio es combinarlo con el equipo de inspección de termografía, la cámara termográfica. El estetoscopio es fácil de usar y puede amplificar el sonido emitido por una trampa de vapor durante la operación.

El medir la temperatura ayuda a determinar que la trampa no se encuentre bloqueada y el estetoscopio permite verificar fugas de vapor vivo, debido a la enorme diferencia entre el sonido de vapor vivo fugándose y el sonido del condensado. A combinar la termografía y estetoscopio el técnico dispondrá del

mejor equipo para realizar diagnóstico lo más exacto posible y verificar la condición de la trampa o componente de la red de distribución de vapor y recuperación del condensado.

#### **5.2.3.3. Reemplazo de partes internas**

Además de la revisión de las trampas es de vital importancia inspeccionar los elementos que componen cada una de las estaciones de trampeo entre otros: válvulas de bola, compuerta y *check*; así también el estado del equipo que utiliza vapor. De esta forma, optimizar el proceso de distribución de vapor y recuperación de condensados.

#### **5.2.3.4. Reemplazo de trampas**

Luego de ejecutar las actividades de mantenimiento preventivo y confirmada una falla, la trampa debe de ser reparada o reemplazada con carácter de urgencia, de acuerdo con las actividades de mantenimiento que correspondan a cada una de ellas.

### **5.3. Costo**

El cálculo del costo de mano de obra anual para ejecutar el programa de mantenimiento preventivo para la red de distribución de vapor se basa en el total de horas-hombre al año necesarias para ejecutarlo, se considera la jornada diurna ordinaria.

El salario mínimo para los cálculos se toma del Acuerdo Gubernativo 470-2014 Ministerio de Trabajo y Previsión Social, fijado en nueve quetzales con ochenta y cinco centavos (Q9,85) por hora.

Tabla XLII. Costo de mano de obra anual para ejecutar el programa de mantenimiento preventivo

ELEMENTO DE LA RED	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	FRECUENCIA	HORAS/HOMBRE	HORAS/HOMBRE AL AÑO	COSTO JORNADA DIURNA ORDINARIA (Q/h)
Bridas de acoplamiento	Revisión de empaque y apretar tornillos	Semestral	24	48	472,8
Válvula reguladora de compuerta	Cambio de Válvula	Anual	24	24	236,4
Soldaduras unión de tuberías	Revisión uniones soldadas, donde exista fuga pulir y soldar.	Anual	24	24	236,4
Válvula de alivio	Cambio de válvula	Anual			0
Válvula de bola	Cambio de válvula	Anual			0
			TOTAL	96	945,6
ELEMENTO DE LA RED	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	FRECUENCIA	HORAS/HOMBRE	HORAS/HOMBRE AL AÑO	COSTO JORNADA DIURNA ORDINARIA (Q/h)
Trampa de vapor termodinámica	Retirar tapa. Limpiar disco y superficie de asiento.	Anual	24	24	236,4
Eliminación de tuberías muertas	Revisión de tubería que conduce vapor y no se utiliza, eliminar.	Anual	6	6	59,1
Trampa de vapor termodinámica	Retirar tapa. Limpiar disco y superficie de asiento.	Anual			0
			TOTAL	30	295,5
ELEMENTO DE LA RED	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	FRECUENCIA	HORAS/HOMBRE	HORAS/HOMBRE AL AÑO	COSTO JORNADA DIURNA ORDINARIA (Q/h)
Trampa de Balde Invertido	Sustituir los componentes de trabajo. El kit contiene palanca, asiento y balde.	Anual	24	24	236,4
Válvula Check	Cambio de Válvula	Anual			0
Trampa de Balde Invertido	Sustituir los componentes de trabajo. El kit contiene palanca, asiento y balde.	Anual			0
Trampa Termostática	Si la trampa falla, sustituya componentes internos, termostato, asiento y junta.	Anual	24	24	236,4
Trampa Termodinámica	Retirar tapa. Limpiar disco y superficie de asiento.	Anual			0
Trampa Termodinámica	Retirar tapa. Limpiar disco y superficie de asiento.	Anual			0
Trampa Termodinámica	Retirar tapa. Limpiar disco y superficie de asiento.	Anual			0
Trampa Termodinámica	Retirar tapa. Limpiar disco y superficie de asiento.	Anual			0
Trampa Termodinámica	Retirar tapa. Limpiar disco y superficie de asiento.	Anual			0
Trampa Termodinámica	Retirar tapa. Limpiar disco y superficie de asiento.	Anual			0
Trampa de Flotador & Termostato	Todos los componentes internos pueden ser cambiados. Venteador termostático de aire, flotador, asiento de válvula.	Anual	24	24	236,4
			TOTAL	72	709,2
ELEMENTO DE LA RED	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	FRECUENCIA	HORAS/HOMBRE	HORAS/HOMBRE AL AÑO	COSTO JORNADA DIURNA ORDINARIA (Q/h)
Trampa Termodinámica	Retirar tapa. Limpiar disco y superficie de asiento.	Anual			0
Trampa Termodinámica	Retirar tapa. Limpiar disco y superficie de asiento.	Anual			0
Bomba de condensados.	Revisar contador de ciclo de la bomba, aislamiento termico, visor de nivel.	Mensual	0,5	6	59,1
Bomba de condensados.	Revisar contador de ciclo de la bomba, aislamiento termico, visor de nivel.	Mensual	0,5	6	59,1
			TOTAL	12	118,2
ELEMENTO DE LA RED	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	FRECUENCIA	HORAS/HOMBRE	HORAS/HOMBRE AL AÑO	COSTO JORNADA DIURNA ORDINARIA (Q/h)
Aislante termico	Revisar aislante, sustituir lana mineral.	Semestral	12	24	236,4
Aislante termico	Revisar aislante, sustituir lana mineral.	Semestral	12	24	236,4
Filtros tipo Y	Revisar instalación correcta en dirección al flujo tal como se indica en el cuerpo del mismo. Realizar limpieza.	Semestral	24	48	472,8
Eliminador de aire	Revisar el funcionamiento del cierre hermético. Una válvula de aislamiento se debe instalar para facilitar su reemplazo. La unidad es no reparable.	Anual	24	24	236,4
Rompedor de vacío	Verificar cierre hermético. No debe escapar vapor o agua.	Anual	24	24	236,4
			TOTAL	144	1418,4

Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

Tabla XLIII. **Costo total anual por mantenimiento preventivo**

COSTO TOTAL ANUAL POR MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Q/AÑO
	3 486,90

Fuente: elaboración propia.



## CONCLUSIONES

1. La eficiencia de la caldera es de 85,7 %, un ajuste apropiado se debe realizar con la ayuda del analizador de gases de combustión.
2. La calidad del vapor tiene importancia únicamente cuando se trata de vapor húmedo, el valor se debería encontrar entre 0 y 1; en este caso 0,00425 del vapor mantiene humedad, es decir el 99,57 % del vapor producido por la caldera se encuentra libre de humedad antes de salir del cabezal de distribución principal.
3. El costo de producir vapor a 115 psi, con una eficiencia de caldera de 85,7 % es de 0,165 de quetzal por cada libra de vapor producido.
4. El porcentaje de agua fresca de alimentación utilizado por cada libra de vapor producido por la caldera, 53,1826 %. De igual forma el porcentaje de condensado que se recupera de la red de distribución de vapor es de 46,8173 %. La eficiencia de la recuperación del condensado en esta industria es del 46,8173 %.
5. Debido a que el porcentaje de agua fresca de alimentación que se utiliza por cada libra de vapor es el mismo por no recuperar el condensado, entonces el porcentaje de pérdida energética en el sistema de distribución de vapor es de 53,1826 %, más el porcentaje de vapor instantáneo eliminado en el tanque de condensados 1,7269 % lo que suma entonces 54,9095 % de pérdida energética en el sistema de

distribución. El costo por no recuperar el condensado con la energía contenida en él es de 316 020 8461 quetzales al año.

6. El diámetro óptimo para la red de distribución de vapor es de 4 pulgadas; en cuanto al de recuperación de condensados, el estudio indica que el diámetro para la tubería de retorno de condensados debería ser de 2 ½ pulgadas.
7. El costo de la energía desperdiciada por mantener la tubería de distribución de vapor sin aislar es de 186 747 0252 quetzales al año. Asimismo, la energía perdida debido a la tubería de retorno de condensados sin material aislante tiene un costo de 98 224 3955 quetzales al año.
8. En total el desperdicio energético en la red de distribución de vapor asciende a 1 388 664 727 quetzales al año.
9. Al evaluar el impacto ambiental que conlleva el eficientar la recuperación de condensados en la red de distribución de vapor, el manual de caldera indica que debe existir entre un 15 a 20 % de exceso de aire para considerarlo razonable, del muestreo realizado con el analizador de gases de combustión *Bacharach*, se obtiene el 29,1289 % de aire extra, lo que permite quemar el combustible lo máximo posible. La lectura de dióxido de carbono debería estar aproximadamente entre 12-1/2 a 13 %. El valor obtenido por el muestreo presenta 12,8263 % de CO<sub>2</sub>. Es decir cuando se siguen los procedimientos de ajustes a cabalidad se es amigable con el ambiente, puesto que los porcentajes de emisiones se encuentran dentro del marco técnico legal.

10. Debido a que todo equipo mecánico está sujeto a desgaste necesariamente requerirá de mantenimiento, la codificación de los elementos de la red de vapor facilita la determinación de las actividades de mantenimiento preventivo para los mismos elementos, válvulas de bola, compuerta, *check*, y trampas de vapor; así también el estado del equipo que utiliza vapor, los métodos utilizados para la revisión fueron la inspección visual, revisión de temperatura y análisis auditivo. Lo ideal fue combinar ambos métodos para efectuar una rutina de mantenimiento a la red.
11. La inspección visual es la más simple, aún así es el primer paso para detectar problemas. Algún hallazgo podría ser la ausencia de descarga de condensado o por el contrario la expulsión de cantidades de vapor vivo, fugándose del sistema por la salida de la trampa, indicación inmediata de mantenimiento.
12. El objetivo principal del análisis por termografía es detectar que las trampas y componentes no estén fugando vapor y que las mismas no se encuentren bloqueadas, evitando la acumulación de condensado, además de que el mismo no sea descargado y recuperado.
13. En la inspección auditiva debido a que el condensado al fluir a través de la trampa emite sonido y vibración, de igual forma que lo hace para la apertura y cierre de los mecanismos de las trampas. Cuando la trampa está desgastada o sucia el sonido cambia. La experiencia auditiva para diferenciar entre una trampa buena y una mala puede ser un método de determinar las condiciones de las trampas, así también de otros accesorios que forman parte de la red de vapor y retorno de condensado.

14. El costo para ejecutar el programa de mantenimiento preventivo para la red de distribución de vapor basado en el total de horas-hombre al año necesarias para ejecutarlo, considerando una jornada diurna ordinaria, de 3 486,9 quetzales al año.

## RECOMENDACIONES

1. Debido a los grandes avances tecnológicos hoy en día se cuenta con equipos que permiten estudiar de manera rápida, sencilla y confiable, variables que forman parte de un proceso industrial susceptible de mejorar. Tal es el caso del analizador portátil de combustibles y emisiones, diseñado para muestrear la combustión de hornos, calderas entre otros.
2. El correcto funcionamiento de los elementos en las instalaciones de la red, permite que el vapor sea utilizado de forma eficiente. Para el chequeo y posterior estudio de los elementos se vale principalmente del uso de la cámara termográfica *Ti32\_9HZ* marca *Fluke*, con la que se obtienen imágenes en infrarrojo, ideales para la realización de auditoría energética.
3. Instalar un medidor de agua de tamaño adecuado en la línea de reemplazo de agua cruda para determinar precisamente el volumen de agua cruda que entra a la caldera, para ayudar a mantener condiciones de agua apropiadas en el nivel interior de la caldera.
4. Un porcentaje definitivo de exceso de aire (oxígeno) es requerido por la mayoría de las autoridades locales, y por supuesto, el quemador nunca debe operarse con una proporción de aire/combustible que indique un porcentaje menor.

5. El hecho de purgar la caldera implica eliminar agua caliente contenida en la caldera; esa cantidad de agua posee energía que ha sido transferida por los gases producto de la combustión.
6. La importancia del aislamiento térmico en la red de distribución radica en que pueda mantener la temperatura del sistema, de tal forma que es posible controlar la condensación en la tubería, optimizando el uso de la energía; por último el rol especial que cumple como protección para el personal forma parte importante de la seguridad industrial, reduciendo las condiciones inseguras en planta.
7. Se propone ejecutar con carácter de urgencia todas las actividades propuestas en tablas XXI, XXII, XXIII y XXIV; lo que permitirá cerrar la red y recuperar el condensado máximo posible, reduciendo el consumo de agua fresca de alimentación, así también la energía requerida por la combustión del búnker para generar vapor.
8. El diámetro óptimo de acuerdo con el estudio de eficiencia para la tubería de distribución de vapor es de 4 pulgadas. Puesto que el sistema cuenta con tubería de diámetro de 4 pulgadas, en este aspecto el sistema es el adecuado.
9. En cuanto al diámetro de la tubería de retorno de condensados, de acuerdo con el estudio, el diámetro óptimo debería ser de 2 ½ pulgadas. Debido a que la red de retorno de condensados tiene 2 pulgadas de diámetro, definitivamente no es el adecuado, por lo que se sugiere cambiar la tubería al diámetro óptimo.

10. En cuanto al aislamiento de la tubería de distribución de vapor es necesario aislar los 196 194232 pies que se encuentran sin aislar. De igual forma es necesario aislar los 210 958 012 pies de la tubería de condensado sin aislar, ya que mejora las condiciones dentro del área de trabajo de manera que se reducen las condiciones inseguras, evitando la ocurrencia de accidentes laborales.
11. La implementación del sistema de recuperación de calor (*Kaeser Kompressoren*), compresor de tornillo *Kaeser* utilizando un intercambiador de calor que permita calentar agua industrial para alimentar la caldera, significará un ahorro anual de recuperación de calor de 218 789,34 quetzales.
12. Recuperar el condensado permite incrementar la eficiencia y larga duración de la red de distribución de vapor y recuperación de condensado, al más bajo costo, consistente en buenas prácticas técnicas y operaciones del agua de alimentación tratada adecuadamente. Es necesario seguir de manera estricta las recomendaciones de la compañía de tratamiento de agua, de tal forma que sea posible prevenir la presencia de sólidos y gases corrosivos indeseables.
13. El ajuste apropiado de las proporciones de aire/combustible en todas las graduaciones del encendido se debe establecer por medio de un analizador de gases de la combustión. Este instrumento mide el contenido de los gases de la combustión, en porcentajes, ya sea de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), oxígeno ( $\text{O}_2$ ), y monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) en los gases de combustión.

14. El hollín y materiales no combustibles son aisladores efectivos, y si se permite su acumulación, disminuirá la transferencia de energía al agua, lo que aumentará el consumo de combustible. El hollín y otros depósitos pueden absorber la humedad, formando ácidos corrosivos que deterioran el metal.
15. El medir la temperatura ayuda a determinar que la trampa no se encuentre bloqueada; el estetoscopio permite verificar fugas de vapor vivo, debido a la enorme diferencia entre el sonido de vapor vivo fugándose y el sonido del condensado, combinando la termografía y estetoscopio; él técnico dispondrá del mejor equipo para realizar los diagnósticos lo más exacto posible y determinar de la condición de la trampa o componente de la red de distribución de vapor y recuperación del condensado.
16. El análisis visual es mucho más sencillo en sistemas del tipo abierto, puesto que es posible abrir la válvula a la salida de la trampa y visualizar el contenido expulsado. En toda la red de distribución y recuperación de condensado se realiza una inspección visual para detectar fugas por rupturas, accesorios fallados, juntas y empaques. Al final la confiabilidad que ofrece el diagnóstico correcto por termografía y sonido es la mejor.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ANDRADE LÓPEZ, Alfredo Arnoldo. *Mantenimiento preventivo para calderas y circuitos de refrigeración en función del tratamiento del agua de alimentación*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2005. 145 p.
2. CENGEL, Yunus; BOLES, Michael. *Termodinámica*. 6a ed. México: Mcgraw-Hill, 2009. 1009 p. ISBN 978-970-10-7286-8.
3. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE). *Bases para el ahorro de energía en calderas y sistemas de vapor*. México: SENER, 2009. 239 p.
4. DE LEÓN ROQUE, Jorge Luis. *Guía de prácticas de laboratorio en calderas piro-tubulares de cuatro pasos para el curso de plantas de vapor*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 171 p.
5. GARCÍA GODÍNEZ, Erick Fernando. *Ahorro energético aplicado al rediseño de calderas y la administración de sus recursos*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 275 p.

6. GONZÁLEZ, Margarita Alba; SANDOVAL CARRILLO, Alberto. *Análisis de riesgos del tratamiento del agua para calderas*. México: Plaza y Valdez Editores, 1999. 55 p. ISBN 968-856-700-0.
7. ICAITI. *Ahorro de energía en sistemas de vapor*. Guatemala: Impresos Industriales, S. A. 250 p.
8. Manual de Calderas marca Cleaver & Brooks. Modelo CB-600-300. 37 p.
9. MEDRANO GÓMEZ, Luis Roberto. *Análisis para el mejoramiento de la eficiencia de operación de las calderas de vapor del Hospital San Juan de Dios*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1993. 156 p.
10. ORTÍZ SOLÓRZANO, Roberto Enrique. *Diagnóstico y propuesta para mejorar el estado actual de las calderas del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social a nivel nacional*. Trabajo de graduación Ing. Mecánico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 179 p.
11. PAZ MARROQUÍN, Priscilla María. *Implementación de un sistema de recuperación de calor en un compresor de tornillo rotatorio de 75 hp para el precalentamiento del agua de una caldera*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2010. 230 p.

12. SÁNCHEZ RAMÍREZ, Javier Eduardo. MEJÍA FAJARDO, Amanda del Pilar. *Análisis del sistema de recuperación de condensado en las áreas de vapor y energía del complejo industrial de Barrancabermeja*. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias Fisicoquímicas, Escuela de Ingeniería Química, 2005. 95 p.
13. Spirax Sarco. *Purga de vapor y eliminación de aire. Guía de referencia técnica*. Buenos Aires, 1999. 25 p.
14. VILLANUEVA RODRÍGUEZ, Tomás. *Diseño y cálculo de redes de vapor. ente regional de la energía de Castilla y León*. España: Impresión I. Solares. León, 2010. 250 p.



## ANEXOS

### Anexo 1. Características representativas de aceites

**CUADRO 2.5**  
**Características representativas de aceites combustibles**

Grado	Punto de inflamabilidad °F	Punto de escurrimiento °F	Gravedad Grados API	Densidad lb/galón		Viscosidad Saybolt Univ (Seg)		Contenido Prom. de azufre %	Poder caloríf. Btu/galón
				6.95-6.68	7.30-6.96	28- 33	33- 38		
No. 1	100	0	38-45	6.95-6.68	7.30-6.96	28- 33	33- 38	.081	137 000-132 900
No. 2	100	15	30-38	7.30-6.96	7.79-7.40	33- 38	45- 125	0.25	141 800-137 000
No. 4	130	20	20-28	7.79-7.40	7.94-7.69	45- 125	150- 300	0.87	148 100-143 100
No. 5 (liviano)	130	45	17-22	7.94-7.69	8.08-7.89	150- 300	350- 750	1.35	150 000-146 800
No. 5 (pesado)	130	50	14-18	8.08-7.89	8.45-8.05	350- 750	900-9 000	1.52	152 000-149 400
No. 6	150	75	8-15	8.45-8.05		900-9 000		1.60	155 900-151 300

Fuente: empresa de alimentos, en estudio a características representativas de aceite.

## Anexo 2. Tipos de cambio de dólares

Busqueda personalizada por: [Google](#) Guatemala, noviembre 16 de 2015 English version Ayuda

 **BANCO DE GUATEMALA**

Tipo de Cambio: Del 28/04/2015 al 28/04/2015

Dólares de EE.UU.

Fecha	TCR <sup>1/</sup>
28/4/2015	7.77216

Valores expresados en Quetzales  
<sup>1/</sup> Tipo de Cambio de referencia calculado conforme resolución JM-126-2006

[Portada](#) [Página anterior](#) [Subir](#) [Usuarios Internos](#)

El Banco de Guatemala no solicita ningún tipo de información a sus visitantes en línea, ni guarda información de seguimiento de las páginas visitadas.  
Es libre la reproducción de los artículos, gráficas y cifras que figuren en este Sitio Web, siempre que se mencione la fuente.

Derechos reservados  Banco de Guatemala

Fuente: Banco de Guatemala.

# Anexo 3. Acuerdo gubernativo número 470-2014

**ORGANISMO EJECUTIVO**

  
**MINISTERIO DE TRABAJO Y PREVISIÓN SOCIAL**  
cuédrase figur los siguientes: SALARIOS MÍNIMOS PARA ACTIVIDADES AGRÍCOLAS, NO AGRÍCOLAS Y DE LA ACTIVIDAD EXPORTADORA Y DE MAQUILA.

**ACUERDO GUBERNATIVO NÚMERO 470-2014**

Jueves, 19 de diciembre de 2014

**EL PRESIDENTE CONSTITUCIONAL DE LA REPÚBLICA**

**CONSIDERANDO**

Que la Constitución Política de la República de Guatemala, establece que el régimen económico y social de la República de Guatemala se funda en principios de justicia social. Que el trabajo es un derecho de la persona y una obligación social, así como también, que todo trabajador tiene derecho a obtener un salario justo que cubra sus necesidades de orden material, moral y cultural y, que le permita satisfacer sus deberes como proveedores de familia.

**CONSIDERANDO**

Que el Organismo Ejecutivo, a través de su Consejo de Ministros, ha analizado la situación de los trabajadores guatemaltecos que cuentan con un empleo formal y a los aquellos que se encuentran en la informalidad o que carecen de un puesto de trabajo. Que para todos los trabajadores en primer que el Gobierno de la República adopte decisiones que contribuyan a la estabilidad laboral y a la mayor generación de empleos formales. Que en consecuencia la revisión del comportamiento del salario que el Organismo Ejecutivo debe llevar a cabo conforme a la ley y los ajustes que sean necesarios, deben cumplirse sobre la base de criterios técnicos y científicos que sustenten una decisión que genere estabilidad laboral y contribuya a las condiciones de la creación de empleo decente.

**CONSIDERANDO**

Que el Organismo Ejecutivo, conforme lo relacionado con la revisión y ajuste del año procedente, considera apropiado a la situación de estabilidad y productividad que requiere la economía del país, adoptar su decisión de ajuste sobre la base de la fórmula técnica que comprende las informaciones provenientes del Banco de Guatemala y del Instituto Nacional de Estadística, que reflejan la cifra de la inflación proyectada, así como los factores de productividad objetiva, tales como el nivel anual de crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB), y el crecimiento del crecimiento anual de la población. Entre aspectos técnicos, analizo a la valoración económica de las capacidades de los empleadores y de las necesidades de los trabajadores en sus correspondientes contextos urbanos, regionales y sectoriales, aconsejan la decisión que se adoptará.

**POR TANTO:**

En el ejercicio de las funciones que le confiere el Artículo 183 literal c) de la Constitución Política de la República de Guatemala, y con fundamento en los Artículos 101 y 102 literal f) de la misma Constitución, 2 del Convenio Internacional 131 sobre la Fijación de Salarios Mínimos de la Organización Internacional del Trabajo -OIT-, y TOD, 104, 112, 113 y 115 del Código de Trabajo.

**ACUERDA:**

Fijar los siguientes:

**SALARIOS MÍNIMOS PARA ACTIVIDADES AGRÍCOLAS, NO AGRÍCOLAS Y DE LA ACTIVIDAD EXPORTADORA Y DE MAQUILA**

**Artículo 1. Salario Mínimo para las Actividades Agrícolas.** Para las actividades Agrícolas se fija el salario mínimo en la suma de SETENTA Y OCHO QUETZALES CON SETENTA Y DOS CENTAVOS (Q.78.72) DIARIOS, equivalente a NUEVE QUETZALES CON OCHENTA Y CINCO CENTAVOS (Q.9.85) POR HORA en jornada ordinaria diurna de trabajo o lo proporcional para las jornadas mixta o nocturna, salario que será aplicable a partir del uno de enero del año dos mil quince.

**Artículo 2. Salario Mínimo para las Actividades No Agrícolas.** Para las actividades No Agrícolas se fija el salario mínimo en la suma de SETENTA Y OCHO QUETZALES CON SETENTA Y DOS CENTAVOS (Q.78.72) DIARIOS, equivalente a NUEVE QUETZALES CON OCHENTA Y CINCO CENTAVOS (Q.9.85) POR HORA en jornada ordinaria diurna de trabajo o lo proporcional para las jornadas mixta o nocturna, salario que será aplicable a partir del uno de enero del año dos mil quince.

**Artículo 3. Salario Mínimo para la Actividad Exportadora y de Maquila.** Para la Actividad Exportadora y de Maquila, regulada por el Decreto 25-99 del Congreso de la República y sus reformas, se fija el salario mínimo en la suma de SETENTA Y DOS QUETZALES CON TREINTA Y SEIS CENTAVOS (Q.72.36) DIARIOS, equivalente a NUEVE QUETZALES CON CUATRO CENTAVOS (Q.9.04) POR HORA en jornada ordinaria diurna de trabajo o lo proporcional para las jornadas mixta o nocturna, a partir del uno de enero del año dos mil quince.

**Artículo 4. Definiciones.** Para los efectos del presente Acuerdo, por Actividades Agrícolas se entiende: Las comprendidas en la categoría de tabulación A de la tercera parte de la Clasificación Internacional Uniforme de todas las Actividades Económicas -CIIU- Revisión Cuatro, de la Organización de las Naciones Unidas, por Actividades No Agrícolas se entiende las comprendidas en las Categorías de Tabulación de la B a la U de la tercera parte de la citada clasificación, en lo concerniente al sector privado.

**Artículo 5. Casos Especiales.** Cuando por las peculiaridades y naturaleza de cada trabajo, se pacte el pago de la remuneración por hora, por unidad de obra o por participación en las utilidades, ventas o cobros que haga el patrono, en ningún caso saldrán perjudicados los trabajadores que ganen por pieza o precio alzado, o a destajo, de conformidad con la ley.

**Artículo 6. Sanciones.** A los empleadores que por cualquier medio o motivo violen las disposiciones del presente Acuerdo, se les impondrá una sanción, de conformidad con el artículo 272, literal c), del Código de Trabajo, sin perjuicio del derecho de los trabajadores a reclamar y recuperar las sumas que se les adeuden.

**Artículo 7. Bonificación-Incentivo.** Adicionalmente al salario mínimo fijado se deberá cancelar mensualmente al trabajador la Bonificación Incentivo, establecido en el Decreto número 78-95 del Congreso de la República y sus reformas.

**Artículo 8. Irrenunciabilidad.** El presente Acuerdo no implica renuncia de ningún derecho adquirido previamente por los trabajadores.

**Artículo 9. Promoción e implementación de sistemas de remuneración salarial modernos y congruentes con la labor del trabajador.** Se designa al Ministerio de Trabajo y Previsión Social, para que coordine sus acciones con el Instituto Técnico de Capacitación y Productividad -INTECAP- a efecto que dentro del marco de sus atribuciones legales presten la asesoría que requieran los centros de trabajo interesados en aplicar esquemas voluntarios de remuneración en atención a la producción y generación de resultados de sus trabajadores.

**Artículo 10. Vigencia.** El presente Acuerdo Gubernativo empieza a regir el uno de enero del año dos mil quince y deberá ser publicado en el Diario de Centro América.

**COMUNIQUESE**

  
OTTO FERNANDO PÉREZ MOLINA

  
Lc. Carlos Francisco Cordero Solórzano  
MINISTRO DE TRABAJO Y PREVISIÓN SOCIAL

  
Carlos Enrique Martínez Jara  
SECRETARIO GENERAL DE LA PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA

Fuente: Organismo Ejecutivo. Gobierno de Guatemala.

Anexo 4. Catálogo de Rioducth

**Watson McDaniel**

Manufacturando Equipos para el Manejo de Vapor y Control de Fluidos con la mas Alta Calidad desde 1878

Fabricados en USA

Trampas para Vapor  
Bombas para Retorno de Condensado  
Válvulas Reductores de Presión con Piloto  
Válvulas Reguladoras de Acción Directa de Presión & Temperatura  
Válvulas de Control  
Drenadores de Líquidos  
Productos Especiales  
Datos de Ingeniería

Catalogo de Productos

Fuente: Watson McDaniel. *Catálogo de productos*. Portada.

## Anexo 5. Trampa para vapor

Trampas para Vapor

### Trampas para Vapor

# WD600S

Trampa Termodinámica

Watson McDaniel se reserva el derecho de cambiar los diseños y/o materiales de sus productos sin previo aviso.  
© 2010 Watson McDaniel Company

Modelo	WD600S, WD600LS
Medidas	1/2", 3/4", 1"
Conexiones	NPT
Material del cuerpo	Acero Inoxidable 420F
Opciones	Válvula de purga, Tapa aislante
PMO Presión máxima de operación	600 PSIG
TMO Temperatura máxima de operación	750°F
PMA Presión máxima admisible	915 PSIG hasta 250°F
TMA Temperatura máxima admisible	610°F @ 750 PSIG



#### APLICACIONES TÍPICAS

**PIERNAS COLECTORAS, VENAS DE CALENTAMIENTO:**  
La trampa termodinámica WD600S se usa comúnmente para drenaje de condensado en tuberías principales y ramales. Suministrada con un filtro interno y válvula de purga opcional para proteger la trampa de la contaminación. Estas trampas se pueden usar en aplicaciones de drenaje.

#### COMO FUNCIONA

La trampa termodinámica es de operación cíclica abierta-cerrada. Se abre cuando el condensado de entrada empuja el disco y se cierra herméticamente cuando hay presencia de vapor.

#### CARACTERÍSTICAS

- Filtro interno con válvula de purga opcional para proteger la trampa de partículas
- Para aplicaciones de alta presión de hasta 600 PSIG
- Asiento y disco de acero inoxidable endurecido para alargar la vida útil, inclusive a alta presión.
- La trampa funcionará en el rango de presión de 3.5 a 600 PSIG (No recomendable para menos de 10 PSI)
- Adecuado para vapor sobrecalentado
- A prueba de congelación cuando la trampa se instala en una posición vertical para drenar condensado
- Tres orificios en la descarga extienden la vida de la zona del asiento
- La trampa funcionará en cualquier posición (Preferiblemente horizontal)

#### EJEMPLO DE ESPECIFICACION

La trampa será de tipo termodinámica totalmente de acero inoxidable con asiento y disco endurecido, con filtro interno y válvula de purga.

#### INSTALACIÓN

La trampa se puede instalar en cualquier posición; sin embargo, es preferible hacerlo horizontalmente. La instalación debe incluir válvulas de aislamiento. Material no recomendable para soldar.

#### MANTENIMIENTO

Si la trampa es nueva y falla, cierre las válvulas de aislamiento y retire la tapa. Limpie el disco y las superficies del asiento, colocar la tapa y el disco con el lado de la ranura hacia el asiento.

**Nota:** No apriete demasiado la tapa. Para los detalles completos de mantenimiento, ver Manual de Instalación y Mantenimiento.

#### OPCIONES

Una tapa aislante está disponible para reducir los ciclos de operación y la pérdida de vapor en lluvia, nieve o ambientes fríos. La válvula de purga, se utiliza para eliminar la suciedad y las partículas retenidas en el filtro.

**SB** = Filtro y válvula de purga

**L** = Baja Capacidad

#### WD600LS

**WD600LS** es una versión de baja capacidad del modelo estándar **WD600S**

**3/4" WD600LS** tiene la misma capacidad que la **1/2" WD600S**.

Continuación de anexo 5.

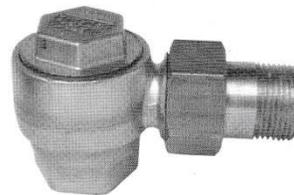
Trampas para Vapor

## Trampas para Vapor TT25B/TT125

Trampa Termostática (Reparable)

Watson McDaniel se reserva el derecho de cambiar los diseños y / o materiales de sus productos sin previo aviso.  
© 2010 Watson McDaniel Company

Modelo	<b>TT25B, TT125</b>
Medidas	<b>1/2", 3/4"</b>
Conexiones	<b>NPT</b>
Material del cuerpo	<b>Aleación de bronce</b>
PMO Presión máxima de operación	<b>TT25B 25 PSIG TT125 125 PSIG</b>
TMO Temperatura máxima de operación	<b>Temperatura de Vapor Saturado</b>
PMA Presión máxima admisible	<b>125 PSIG hasta 450°F</b>
TMA Temperatura máxima admisible	<b>450°F @125 PSIG</b>



### APLICACIONES TÍPICAS

**TT25B/TT125** Trampas termostáticas de vapor se utilizan predominantemente en la industria HVAC (Heating, Ventilating and Air conditioning). Se conocen como trampas para radiadores, ya que la conexión rápida con ángulo recto se encuentra en la mayoría de instalaciones de radiadores. Su excelente capacidad de desalojo de aire, tamaño compacto, y el costo económico la hacen una gran opción para venteo de aire intercambiadores de calor o en aplicaciones para trampas de vapor en equipos OEM.

### COMO FUNCIONA

La trampa termostática contiene un termostato soldado de acero inoxidable que se expande cuando se calienta y se contrae cuando se enfría. Cuando el aire y condensado están presentes la trampa está posición de descarga abierta. Cuando el vapor llega a la trampa, el termostato se expande y se cierra herméticamente.

### CARACTERÍSTICAS

- Excelente capacidad de desalojo de aire
- En línea reparables
- Termostato soldado de acero inoxidable
- Asiento inoxidable en TT125
- Alta eficiencia térmica

### EJEMPLO DE ESPECIFICACION

La trampa para vapor será de tipo termostática con cuerpo de aleación de bronce y el termostato de acero inoxidable. La trampa debe ser reparada en línea.

### INSTALACIÓN

Válvulas de aislamiento se deben instalar con la trampa. La trampa se puede instalar en cualquier posición.

### MANTENIMIENTO

Si la trampa falla, retire la cubierta y sustituya los componentes internos de trabajo. Kit de reparación incluye el termostato, el asiento, y la junta. Para detalles completos de mantenimiento, ver Manual de Instalación y Mantenimiento.

Continuación de anexo 5.

Trampas para Vapor

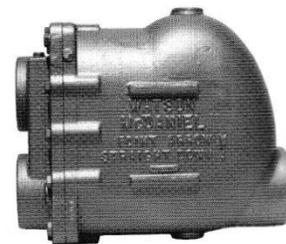
## Trampas para Vapor

# Serie FTE & FTES

Trampa para Vapor tipo Flotador y Termostato

Watson McDaniel se reserva el derecho de cambiar los diseños y / o materiales de sus productos sin previo aviso.  
© 2010 Watson McDaniel Company

Modelo	FTE	FTES
Medidas	1 1/2", 2", 2 1/2"	2 1/2"
Conexiones	NPT	NPT, SW, FLG
Material del cuerpo	Hierro Dúctil	Acero fundido
PMO Presión máxima de operación	200 PSIG	300 PSIG
TMO Temperatura máxima de operación	450°F	450°F
PMA Presión máxima admisible	300 PSIG hasta 450°F	300 PSIG hasta 750°F
TMA Temperatura máxima admisible	450°F @ 300 PSIG	750°F @ 300 PSIG



### APLICACIONES TÍPICAS

**PROCESO:** Serie FTE & FTES Trampas tipo Flotador & Termostato son utilizadas en la industria HVAC y en equipos para procesos industriales con requerimientos de carga muy altos. Estas trampas de alta capacidad se utilizan típicamente en calentadores, enfriadores de absorción, serpentines con gran manejo de aire, intercambiadores de calor grandes, y otros equipos de proceso de gran tamaño.

### CÓMO FUNCIONA

Las trampas tipo Flotador & Termostato tienen un flotador y un elemento termostático que trabajan juntos para eliminar tanto el condensado como el aire del sistema de vapor. El flotador el cual está unido a una válvula se levanta y abre la válvula cuando el condensado entra a la trampa. El aire se descarga a través del venteador termostático a la salida de la trampa. El venteador termostático se cierra cuando el vapor entra a la trampa.

### CARACTERÍSTICAS

- Hierro dúctil tiene un rango mas alto de presión y temperatura y es más resistente a las cargas de choque que el hierro fundido.
- Cuerpo de acero permitirá presiones y temperaturas de operación de hasta 300 PSIG y 450°F.
- Trampa para vapor de alta capacidad para drenaje de equipos de proceso de gran tamaño (más de 100.000 lbs/hr)
- Todas las partes internas de acero inoxidable con asiento endurecido y piezas de desgaste.
- La reparación en línea se simplifica al tener todos los elementos internos unidos a la cubierta.
- Venteo termostático soldado, de acero inoxidable que resiste a los impactos de golpes de ariete. Orificio de venteo de aire permanente disponible para aplicaciones de vapor sobrecalentado
- Excelente capacidad de manejo de aire permitiendo que este se descargue rápidamente y el vapor entre en el sistema de inmediato durante el arranque
- Las trampas F&T descargan condensado inmediatamente a medida que este se forma (no retienen condensado en el sistema)

### EJEMPLO DE ESPECIFICACIÓN

La trampa será de diseño flotador & termostato con cuerpo de hierro dúctil o acero. La trampa debe incorporar todos los elementos internos de acero inoxidable con asiento endurecido y el venteador termostático soldado. La trampa se puede reparar en línea.

### INSTALACIÓN

Válvulas de aislamiento se deben instalar con la trampa para facilitar el mantenimiento. La trampa debe estar nivelada y en posición horizontal para que el mecanismo del flotador pueda operar. Las trampas grandes no deben ser soportadas únicamente por el sistema de tuberías. La trampa debe ser dimensionada y ubicada correctamente en el sistema de vapor.

### MANTENIMIENTO

Todos los componentes internos pueden ser cambiados con el cuerpo de la trampa en línea. El Kit de reparación incluye, el venteador termostático de aire, flotador, asiento de la válvula, y juntas. Para detalles completos del mantenimiento, ver Manual de Instalación y Mantenimiento.

### OPCIONES

Orificio de venteo permanente para aplicaciones de vapor sobrecalentado.

Conexiones de entrada/salida en paralelo son estándar como se muestra en la figura.

Conexión en línea opcional entrada/salida está disponible. Bridas soldadas opcionales

Continuación de anexo 5.

Trampas para Vapor

## Trampas para Vapor

# Serie IB

### Balde Invertido

Watson McDaniel se reserva el derecho de cambiar los diseños y/o materiales de los productos sin previo aviso.  
© 2010 Watson McDaniel Company

---

Modelos	<b>1031, 1032, 1033, 1034, 1031S, 1041, 1042, 1044, 1038S</b>
Medidas	<b>1/2", 3/4", 1", 1 1/4", 1 1/2"</b>
Connexiones	<b>NPT</b>
Material del cuerpo	<b>Hierro Fundido</b>
Opciones	<b>Válvula cheque interior, Venteo de aire</b>
PMO Presión máxima de operación	<b>250 PSIG</b>
TMO Temperatura máxima de operación	<b>450°F</b>
PMA Presión máxima admisible	<b>250 PSIG hasta 450°F</b>
TMA Temperatura máxima admisible	<b>450°F @ 250 PSIG</b>

APLICACIONES TÍPICAS

PIERNAS COLECTORAS, VENAS DE CALENTAMIENTO, PROCESO:

Serie IB Trampa de balde invertido disponible en varios medidas y rangos de capacidad. Las trampas de balde invertido pueden manejar vapor sobrecalentado cuando se utiliza una válvula check. Las trampas más pequeñas se utilizan principalmente en aplicaciones de drenaje y venas de calentamiento. Estas trampas también se utilizan en unidades de calentamiento, equipos de lavandería y otros equipos de proceso pequeños donde el arranque es lento y la poca capacidad de desalojo de aire es tolerable.

CÓMO FUNCIONA

Cuando hay condensado en el sistema, el balde invertido dentro de la trampa se encuentra en la parte inferior debido a su peso. Esto permite que el condensado entre a la trampa y sea descargado a través del orificio del asiento ubicado en la parte superior. Cuando el vapor entra a la trampa, el balde flota hacia la superficie y cierra la válvula de descarga evitando la fuga del vapor en el sistema. Eventualmente el vapor escapa a través de un pequeño orificio en la parte superior del balde ocasionando que el balde regrese a su posición inicial con lo cual se repite el ciclo.

CARACTERÍSTICAS

- Resistente a los golpes de ariete
- Adecuada para vapor sobrecalentado (utilice con la opción de válvula check en el interior)
- La reparación en línea se simplifica al tener todos los elementos internos unidos a la cubierta
- Válvula & asiento están en la parte superior de la trampa haciéndola menos sensible a la suciedad
- Todos los elementos internos son de acero inoxidable con válvula y asiento endurecidos

EJEMPLO DE ESPECIFICACIÓN

La trampa será de tipo balde invertido. El cuerpo de la trampa y la cubierta de hierro fundido con todos los elementos internos de acero inoxidable, asiento y válvula endurecidos.

MANTENIMIENTO

Todos los componentes de trabajo puede ser sustituidos con el cuerpo de la trampa en línea. El kit de reparación contiene el conjunto palanca y asiento con la junta. Para vapor sobrecalentado, una válvula check debe ser instalada 1041/1042/ 1044/1038S (con Filtro) a la entrada de la trampa. Para detalles completos de mantenimiento, ver el Manual de Instalación y Mantenimiento.

**1031/1032/1033/1034**  
(sin Filtro)

**1031S**  
(con Filtro)

**1041/1042/1044/1038S**  
(con Filtro)

REEMPLAZO DIRECTO PARA LOS SIGUIENTES MODELOS DE ARMSTRONG

Watson Modelo	Armstrong Modelo
(Sin filtro integrado)	
1031	800
1032	811
1033	812
1034	813
(Incluye filtro integrado)	
1031S/1038S	N/A
1041	880
1042	881
1044	883

OPCIONES

Conexión de la válvula de purga disponibles en 1041, 1042, 1044 & 1038S. Venteador térmico para mejorar la capacidad de tratamiento de aire. Válvula cheque Interior para aplicaciones de vapor sobrecalentado o contraflujo de condensado.

COMO DIMENSIONAR / ORDENAR

Desde el cuadro de capacidad, seleccione el modelo que pueda manejar la presión de trabajo del sistema (PMO). Seleccione la trampa adecuada que satisfaga las necesidades de capacidad a la presión diferencial. Ejemplo:

Aplicación: 1000 lbs/hr a 75 PSI de presión de trabajo y 2 PSI de presión diferencial

Nota: Especifique el modelo, PMO y tamaño de conexión

Tamaño/Modelo: **IB-1034, 80 PSIG**, Tamaño de tubería (3/4", 1"),  
o **IB-1044, 80 PSIG**, Tamaño de tubería (3/4", 1")

## Anexo 6. Bombas mecánicas para retorno de condensado

### Bombas mecánicas para retorno de condensado

# Serie PMP

## Bombas mecánicas

Watson McDaniel se reserva el derecho de cambiar los diseños y a materiales de sus productos sin previo aviso.  
© 2010 Watson McDaniel Company

BOMBAS

### APLICACIONES TÍPICAS

La serie de bombas de presión motriz PMP de Watson McDaniel están diseñadas para transferir condensado caliente (así como otros líquidos) sin el uso de la energía eléctrica. La principal aplicación de las PMP es bombear condensado de una aplicación de proceso o área de recolección de condensado de vuelta al sistema de retorno de condensado.

**Condensado Caliente** Los sellos mecánicos en las bombas eléctricas de retorno de condensado comienzan a tener dificultades cuando se maneja condensado por encima de 195° F. La falla del sello está virtualmente garantizada cuando las temperaturas de condensado llegan a 203° F debido al re-vaporizado del condensado. Por tanto, es necesario enfriar el condensado para evitar que el sello falle antes de bombear utilizando bombas eléctricas. Las PMP no tienen sellos y por lo tanto manejan perfectamente condensado por encima de estas temperaturas.

### CONFIGURACIONES TÍPICAS

#### UNIDADES INDEPENDIENTES:

Todas las unidades independientes están equipadas con depósito de la bomba, válvulas de retención, y mecanismo interno de bombeo.

• PMPC • PMPF • PMPSS • PMPLS • PMPM • PMPBP

#### BOMBAS CON TANQUES DE ALMACENAMIENTO:

Uno o más bombas independientes conectadas a un tanque receptor de tamaño adecuado montado sobre una base común. Unidades de bombeo adicionales se pueden utilizar para aumentar la capacidad o redundar el sistema en caso de avería.

**Simplex:** Una unidad de bombeo con válvulas de retención y el tanque receptor, montado sobre el marco y una base.

**Duplex:** Dos unidades de bombeo con válvulas de retención y el tanque receptor, montado sobre el marco y una base.

**Triplex:** Tres unidades de bombeo con válvulas de retención y el tanque receptor, montado sobre el marco y una base.

**Cuadraplex:** Cuatro unidades de bombeo con válvulas de retención y el tanque receptor, montado sobre el marco y una base.

#### COMBINACIONES DE BOMBA Y TRAMPA:

Bomba independiente, combinado con la trampa de vapor configurado interna o externamente.

• PMPT (Trampa para vapor interna)  
• WPT Serie (Trampa para vapor externa)

#### DRENADOR DE SUMIDEROS:

Drenador de Sumideros independiente con válvulas check está diseñado para bombear agua fuera de las áreas bajas o pozos. Excelente solución donde no hay acceso a la electricidad.

• PMPSP

### CONFIGURACIONES PERSONALIZADAS

La planta de fabricación de Watson McDaniel está totalmente certificada con el código ASME. Nuestros ingenieros pueden diseñar y construir sistemas especiales completos para satisfacer todas sus necesidades.

**Varias opciones de materiales del cuerpo de la bomba, los tipos y configuraciones están disponibles para satisfacer las aplicaciones específicas del cliente:**

**Tanques de Hierro Dúctil** El hierro dúctil es muy superior al hierro fundido en el manejo de altas presiones y temperaturas también extremadamente resistente a la corrosión de condensado y pueden durar más de 50 años antes de que se necesite reemplazar el tanque. Nuestros tanques de hierro dúctil puede ser certificados ASME bajo pedido.

**Fabricado en Acero al carbono** El acero al carbono tiene un rango muy superior al hierro dúctil respecto a las altas presiones y temperaturas. Determinadas instalaciones industriales tales como la química y refinerías petroquímicas solicitan solo acero al carbono. Nuestros tanques de acero al carbono están certificados ASME

**Fabricados en Acero Inoxidable** Los tanques de acero inoxidable (304L) son los más resistentes a la corrosión y se puede utilizar en ambientes extremadamente ácidos.

**Bajo Perfil** Los tanques de bajo perfil se requieren a menudo cuando se drena condensado de equipos de proceso, cuando se encuentra cerca del suelo lo que limita el cabezal de llenado. Unidades de bajo perfil están disponibles en acero y hierro fundido.

**Drenador de Sumideros** Los drenadores de Sumideros son similares a los modelos PMP, excepto que descargan el condensado verticalmente hacia arriba. Esta disposición de conducción le permite adaptarse fácilmente a pozos, sumidero bajo tierra con el espacio limitado.

### CARACTERÍSTICAS

- **Sin Sello** – El PMP no contiene sellos de empaque. El punto débil de las bombas eléctricas convencionales es la falla del sello debido al vapor flash que se forma condensado caliente a través de la cara del sello.
- **No eléctrica**– Debido a que no se requiere de electricidad se pueden utilizar en lugares remotos o NEMA 4, 7 y 9 áreas peligrosas. Puede funcionar con vapor, aire, nitrógeno u otros gases a presión como fuerza motriz.
- **Hierro Dúctil** – El tanque de la bomba se encuentra disponible en hierro dúctil que es muy superior al hierro fundido para alta presión, temperatura y seguridad. Puede ser certificado ASME y puede durar más de 50 años antes de reemplazarlo.
- **Acero al Carbono** – El tanque de la bomba está disponible en acero al carbono código ASME.
- **Acero inoxidable** – Opciones de tanque de la bomba incluye 304L para aplicaciones en ambientes agresivos.

### OPCIONES

- Contador de ciclo de la bomba utilizado para predecir los intervalos de mantenimiento, así como para calcular el volumen de condensado bombeado.
- Camisas de aislamiento están disponibles para reducir las pérdidas de calor a través del cuerpo de la bomba y proporcionar protección personal.
- Visor de nivel para el monitoreo de nivel de líquido dentro del cuerpo de la bomba.
- Sistemas especiales – Código ASME - certificado de fabricación de planta.

Continuación de anexo 6.

## Bombas mecánicas para retorno de condensado

# Serie PMP

Bombas mecánicas

Watson McDaniel se reserva el derecho de cambiar los diseños y/o especificaciones de los productos sin previo aviso.  
© 2010 Watson McDaniel Company

BOMBAS

### Funcionamiento de las bombas de presión motriz PMP

**1** El Condensado fluye desde el tanque de almacenamiento a través de la válvula de retención de entrada y llena el depósito de la bomba. Durante el ciclo de llenado el flotador se eleva en el interior del tanque.

**2** Cuando el depósito de la bomba se ha llenado hasta el punto de disparo, activa el mecanismo, abriendo la válvula de entrada del fluido motriz y al mismo tiempo cierra la válvula de venteo. Esto permite que la presión motriz entre en el cuerpo de la bomba, lo cual lleva el condensado a través de la válvula de retención de salida en la línea de retorno de condensado. Durante el ciclo de descarga, el nivel del líquido y el flotador dentro del depósito de la bomba caen.

**3** En el punto de disparo más bajo, el mecanismo se dispara y cierra la válvula de entrada de fluido motriz al depósito de la bomba y al mismo tiempo se abre la válvula de venteo. El ciclo de llenado y descarga se repite por sí mismo.

**80** 428 Jones Boulevard • Limerick Airport Business Center • Pottstown PA • 19464 • Tel: 610-495-5131 • Fax: 610-495-5134  
www.watsonmcdaniel.com

Fuente: Watson McDaniel. Catálogo de productos. p. 78, 80.

## Anexo 7. Productos especiales

# PRODUCTOS ESPECIALES

## Serie WCIY

Filtros tipo-Y de Hierro fundido

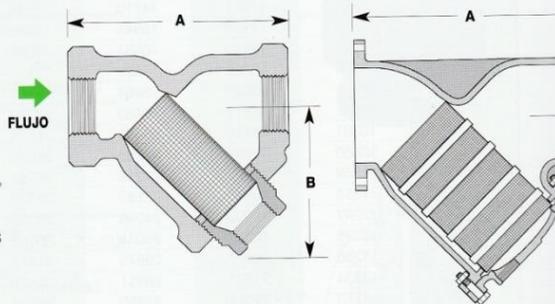
Watson McDaniel  
derecho de cambio  
y/o más  
productos sin  
© 2010 Watson McDaniel

Modelo	<b>WCIY</b>
Tamaños	1/2", 3/4", 1", 1 1/4", 1 1/2", 2", 2 1/2", 3", 4"
Conexión	NPT, Bridadad
Material del cuerpo	Hierro fundido

### RANGOS DE PRESION/TEMPERATURA

NPT	250 PSIG @ 406°F	- Vapor
NPT	400 PSIG @ 150°F	- WOG
Brida 125#	125 PSIG @ 450°F	- Vapor
Brida 125#	200 PSIG @ 150°F	- WOG
Brida 250#	250 PSIG @ 450°F	- Vapor
Brida 250#	500 PSIG @ 150°F	- WOG

Nota: WOG = Agua, aceite o Gas.



### APLICACIONES TÍPICAS

El filtro-Y WCIY se utiliza para filtrar partículas de suciedad del fluido en tuberías y proporciona una protección económica a las costosas bombas, medidores válvulas, trampas, turbinas y compresores.

### CARACTERÍSTICAS

- Asiento mecanizado asegura un ajuste perfecto para la malla
- Conexión de purga & malla cilíndrica de acero inoxidable fácilmente desmontable para facilitar el mantenimiento
- Cuerpo de hierro fundido duradero

### INSTALACION

El filtro debe ser instalado en la dirección del flujo tal como está indicado en el cuerpo, ya sea en una tubería vertical descendente u horizontal. El filtro debe estar accesible para limpieza periódica.

### MATERIALES

Cuerpo	Hierro fundido, A126 CLASS B
Tapón	Hierro fundido, A126 CLASS B
Cubierta	Hierro fundido, A126 CLASS B
*Malla	Acero inoxidable
*Junta	Blue Guard

\*Plazas de repuesto recomendadas.

### DIMENSIONES & PESO — pulgadas / libras

Tamaños/ Conexión	Modelo	A	B	Purga NPT	Peso (lbs)
1/2" NPT	WCIY-12-020S250	3 3/16	2 1/16	3/8	1.5
3/4" NPT	WCIY-13-020S250	3 3/4	2 7/16	3/8	2.5
1" NPT	WCIY-14-020S250	4	2 7/16	3/4	3
1 1/4" NPT	WCIY-15-020S250	5	3 3/8	3/4	5.5
1 1/2" NPT	WCIY-16-020S250	5 3/4	3 7/8	1	8
2" NPT	WCIY-17-020S250	7	4 3/4	1 1/2	13
2" 125# FLG	WCIY-17-020F125	8 7/8	6	1/2	22
2" 250# FLG	WCIY-17-020F250	8 7/8	6 1/2	1/2	28
2 1/2" NPT	WCIY-18-045S250	9 1/4	5 7/8	1 1/2	22
2 1/2" 125# FLG	WCIY18-045F125	10 3/4	8	1	35
2 1/2" 250# FLG	WCIY-18-045F250	11 1/4	7	1	38
3" NPT	WCIY-19-045S250	10	6	1 1/2	30
3" 125# FLG	WCIY-19-045F125	11 1/2	8 3/4	1	43
3" 250# FLG	WCIY-19-045F250	11 5/8	8	1	54
4" 125# FLG	WCIY-20-045F125	13 7/8	9 1/2	1 1/4	75
4" 250# FLG	WCIY-20-045F250	14 1/2	10 3/4	1	110

Continuación de anexo 7.

## PRODUCTOS ESPECIALES

# AV813W

Eliminador de aire

Watson McDaniel se reserva el derecho de cambiar o mejorar los productos sin previo aviso.  
© 2010 Watson McDaniel Company

Modelo	<b>AV813W</b>
Dimensiones	<b>3/4"</b>
Conexión	<b>NPT</b>
Material del cuerpo	<b>Hierro fundido</b>
PMO Presión máxima de operación	<b>150 PSIG</b>
TMO Temperatura máxima de operación	<b>300°F</b>
PMA Presión máxima admisible	<b>150 PSIG hasta 350°F</b>
TMA Temperatura máxima admisible	<b>353°F @ 150 PSIG</b>



### APLICACIONES TÍPICAS

El eliminador de aire **AV813W** se utiliza para remoción de aire u otros gases de recipientes o sistemas de tuberías sin permitir que escape el líquido contenido.

### COMO FUNCIONA

El conjunto válvula y asiento dentro del eliminador de aire está conectado a un flotador de acero inoxidable. Cuando no hay líquido en el cuerpo del eliminador de aire, el flotador está en la posición de descarga permitiendo que aire u otros gases en el recipiente o sistema de tubería escapen. Cuando el líquido entra al cuerpo hace que se eleve el flotador y la válvula se cierra antes de que cualquier líquido pueda escapar.

### CARACTERÍSTICAS

- Carcasa de hierro fundido
- Un diseño sencillo para un fácil mantenimiento
- Elementos internos de acero inoxidable
- Válvula de Viton opcional para altas temperaturas y Cierre hermético

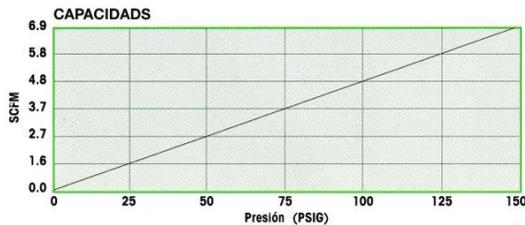
### EJEMPLO DE ESPECIFICACION

El eliminador de aire es de construcción de hierro fundido con elementos internos de acero inoxidable y asiento suave EPDM para un cierre hermético. Asiento de Viton opcional disponible para temperaturas elevadas y cierre hermético.

### INSTALACION & MANTENIMIENTO

El modelo AV813W se debe ubicar en un punto alto en el sistema o recipiente. La unidad se debe instalar a nivel y en posición vertical con el flujo ascendente para que el mecanismo de flotador funcione correctamente. Válvulas de aislamiento se deben instalar para facilitar el mantenimiento.

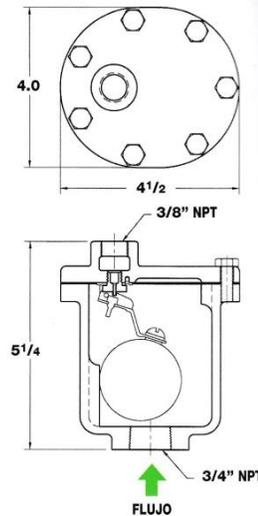
PRODUCTOS ESPECIALES



### MATERIALES

Cubierta	Hierro fundido, ASTM A-126, Clase B
Cuerpo	Hierro fundido, ASTM A-126, Clase B
Junta	Grafoil
Ensamble	Acero inoxidable, Type 304
Asiento de la válvula	Acero inoxidable, Type 304
Pasador Pivote	Acero inoxidable, Type 304
Cabeza de la Válvula	EPDM (Viton opcional)
Leva	Acero inoxidable, Type 304
Flotador	Acero inoxidable, Type 304
Arandela	Acero inoxidable, Type 304
Tornillos y Arandelas	Acero inoxidable, Type 304

### DIMENSIONES — pulgadas



Continuación de anexo 7.

## PRODUCTOS ESPECIALES

# AV2000C

Eliminador de Aire termostático

Watson McDaniel se reserva el derecho de cambiar sin previo aviso los precios y especificaciones de los productos sin previo aviso.  
© 2010 Watson McDaniel Company

Modelo	<b>AV2000C</b>
Tamaños	<b>1/2", 3/4"</b>
Conexiones	<b>NPT</b>
Material del cuerpo	<b>Acero inoxidable</b>
PMO Presión máxima de operación	<b>650 PSIG</b>
TMO Temperatura máxima de operación	<b>Temp. de vapor saturado</b>
PMA Presión máxima admisible	<b>1032 PSIG @ 100°F</b>
TMA Temperatura máxima admisible	<b>750°F @ 800 PSIG</b>



### APLICACIONES TÍPICAS

El modelo **AV2000C** se utiliza en aplicaciones industriales de vapor hasta 650 PSIG para remoción de aire y gases no condensables de equipos de proceso, recipientes y tubería.

### COMO FUNCIONA

El eliminador termostático de aire contiene un elemento térmico de acero inoxidable soldado que se expande cuando se calienta y se contrae cuando se enfría. Cuando aire y gases no condensables están presentes, la válvula está en la posición de descarga abierta. Cuando el vapor llega al eliminador termostático de aire, el elemento se expande y cierra la válvula herméticamente.

### CARACTERÍSTICAS

- Elemento térmico de acero inoxidable soldado
- Asiento y tapón de la válvula de acero inoxidable templado para alargar la vida útil.
- Filtro integrado para proteger de la contaminación
- Presiones de vapor de hasta 650 PSIG
- Opciones especiales de sub-enfriamiento

### EJEMPLO DE ESPECIFICACION

El eliminador de aire tendrá un elemento térmico de operación con un sello soldado a prueba de manipulación fabricado de acero inoxidable. Todas las partes internas serán de acero inoxidable, con un filtro integrado y sistema de asiento endurecido.

### INSTALACION

El eliminador termostático de aire se debe ubicar en un punto alto en el sistema o recipiente. El eliminador termostático se puede instalar en cualquier orientación. Una válvula de aislamiento se debe instalar para facilitar la remoción y reemplazo sin cerrar el sistema. La unidad es soldada herméticamente y no reparable.

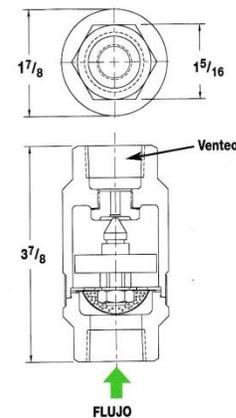
### MATERIALES

Carcasa	Acero inoxidable, ASTM A351-CF8
Elemento térmico	Acero inoxidable
Válvula & asiento	Acero inoxidable templado, 40 Rc
Filtro de malla .033" perf.	Acero inoxidable

### COMO ORDENAR

Especificar el modelo, tamaño de tubería y orificio. Si el tamaño de orificio no se especifica, se utilizará el diámetro estándar de 5/16".

### DIMENSIONES — pulgadas



PRODUCTOS ESPECIALES

### CAPACIDADES — Aire (SCFM)

Modelo	Tamaño de Orificio (PSIG)	Presión de entrada (PSIG)																		
		2	5	10	25	50	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	
AV2001C	3/16"	650	5.2	6.2	7.7	12.4	20.2	35.9	43.9	51.5	67.2	82.8	98.5	114	130	145	161	177	192	208
AV2003C	5/16"	650	10.7	12.6	15.8	25.4	41.4	73.3	89.4	105	137	169	201	233	265	297	329	361	393	425

Continuación de anexo 7.

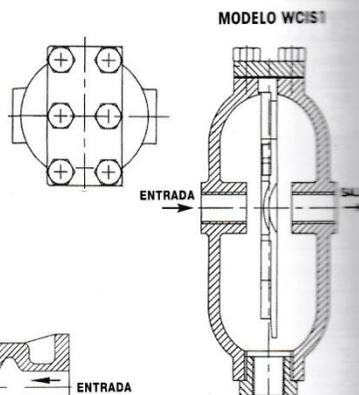
## PRODUCTOS ESPECIALES

# Serie WCIS

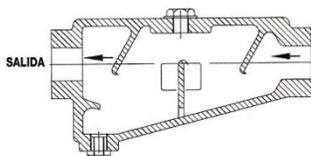
Separador de humedad para Aire/Vapor

Watson McDaniel es el nombre  
derecho de cambio de diseño  
y el material de los  
productos de presión.  
© 2010 Watson McDaniel Company

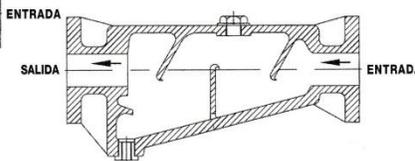
Modelo	WCIS1	WCIS2	WCIS3
Tamaños	3/4", 1"	1 1/2", 2"	2" to 4"
Conexiones	NPT	NPT	ANSI 125#
Material del cuerpo	Hierro Fundido	Hierro Fundido	
PMO Presión máxima de operación	200 PSIG	145 PSIG	
TMO Temperatura máxima de operación	388°F	363°F	
PMA Presión máxima admisible	232 PSIG @ 0-248°F 160 PSIG @ 572°F	232 PSIG @ 0-248°F 188 PSIG @ 428°F	
TMA Temperatura máxima admisible	572°F @ 160 PSIG	428°F @ 0-188 PSIG	



MODELO WCIS2



MODELO WCIS3



### APLICACIONES TÍPICAS

- En la red de vapor, como una estación de goteo por delante de la reducción de la presión de vapor o de las válvulas de control de temperatura
- En la entrada de vapor de prensas para lavandería y otros equipos de proceso que requieren vapor saturado seco
- En el suministro de aire comprimido para instrumentos sensibles y antes de los filtros

### COMO FUNCIONA

Cuando el vapor que se arrastra con humedad entra en el separador, una serie de deflectores cambian la dirección del flujo varias veces. Durante el proceso, los deflectores en la carcasa acumulan las gotas de agua que se arrastran del vapor. La gravedad hace que las gotas de agua y otras partículas extrañas se acumulen y salgan a través de una trampa externa. Esto permite que vapor limpio y seco salga por la salida del separador.

### CARACTERÍSTICAS

- **Extrae casi toda la humedad y sólidos > 10 micrones**
- **Óptima descarga por gravedad**
- **Construcción en hierro fundido**

### EJEMPLO DE ESPECIFICACION

El Separador de humedad es de alta eficiencia con una caída de presión que no exceda la longitud equivalente de la tubería. Cuerpo, de hierro con conexiones roscadas o con bridas. Un drenaje de fondo roscado se provee para la instalación de una trampa para descargar cualquier líquido acumulado.

### INSTALACION

Instalar una tubería horizontal con el drenaje directamente debajo de la línea. La trampa recomendada es una de drenaje continuo de tipo operada por flotador.

### MANTENIMIENTO

La trampa en el drenaje del separador debe ser revisado periódicamente de acuerdo a las instrucciones del fabricante. El separador no requiere mantenimiento.

### MATERIALES

WCIS1 Cuerpo & Cubierta	Hierro fundido ASTM A 126 GR C
WCIS2/3 Cuerpo	Hierro fundido ASTM A 126 GR C
WCIS1 Junta	Grafito laminado semi-rígido
WCIS2/3 Junta	Grafito laminado reforzado
Pernos	Acero UNF, BS 1766 Gr 5
Cojinete	Hierro maleable
Tapón	Hierro maleable

PRODUCTOS  
ESPECIALES

250

428 Jones Boulevard • Limerick Airport Business Center • Pottstown PA • 19464 • Tel: 610-495-5131 • Fax: 610-495-5134  
www.watsonmcdaniel.com

**Watson  
McDaniel**

Continuación de anexo 7.

## PRODUCTOS ESPECIALES

# WVBSS

Rompedor de vacío de acero inoxidable

Watson McDaniel reserva el derecho de cambiar los tamaños y/o materiales de los productos sin previo aviso.  
© 2010 Watson McDaniel Company

Modelo	<b>WVBSS</b>
Tamaño	<b>1/2"</b>
Conexiones	<b>NPT</b>
Material del cuerpo	<b>Acero inoxidable</b>
PMO Presión máxima de operación	<b>300 PSIG</b>
TMO Temperatura máxima de operación	<b>752°F</b>
PMA Presión máxima admisible	<b>300 PSIG hasta 752°F</b>
TMA Temperatura máxima admisible	<b>752°F @ 300 PSIG</b>



### APLICACIONES TÍPICAS

El Rompedor de Vacío **WVBSS** se utiliza en intercambiadores de calor, serpentines de aire, calderas con camisa, prensas, tanques de agua de alimentación de calderas, sistemas de aspersión, tuberías de agua o en cualquier otro lugar donde un vacío no deseado pueda producirse. El WVBSS permite que el aire entre en el sistema de vapor o líquido con el fin de "romper el vacío" provocado por la condensación del vapor o drenaje de líquidos de un sistema. La eliminación de vacío es necesaria para permitir el drenaje adecuado del líquido de los sistemas de proceso.

### COMO FUNCIONA

El rompedor de vacío funciona como una válvula check sencilla. El aire exterior entra en el sistema a través de la entrada de aire. Sin embargo, cuando el vapor o el agua tratan de escapar, el rompe vacío se cierra herméticamente.

### CARACTERÍSTICAS

- Construida totalmente en acero inoxidable
- Pequeña & Compacta

### EJEMPLO DE ESPECIFICACION

La unidad debe ser instalada en posición vertical y en el lugar mas alto del equipo.

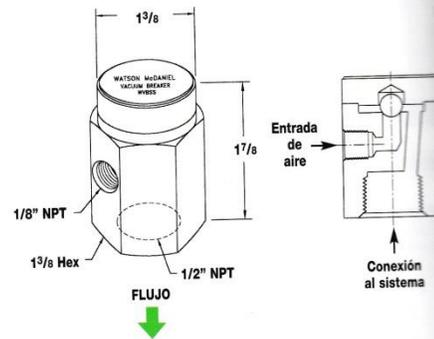
### INSTALACION

Los rompedores de vacío son totalmente construidos de acero inoxidable con un diseño de la bola de la válvula de acero inoxidable templado.

### MATERIALES

Cuerpo	Acero inoxidable, Series 300
Bola	Acero inoxidable templado
Placa del fabricante	Acero inoxidable, Series 300

### DIMENSIONES – pulgadas



### CAPACIDADES – Aire (SCFM)

Tamaño NPT	Vacío in Hg					
	2	4	6	8	10	12
1/2"	2.4	3.4	4.0	4.3	4.7	4.9

PRODUCTOS ESPECIALES

Continuación de anexo 7.

## PRODUCTOS ESPECIALES

# Serie WSTTV

Válvulas de probar trampas para vapor

Watson McDaniel se reserva el derecho de cambiar los diseños y / o materiales de sus productos sin previo aviso.  
© 2010 Watson McDaniel Company

Modelo	<b>WSTTV</b>
Tamaños	<b>1/2", 3/4", 1"</b>
Conexiones	<b>NPT (Consulte a la fábrica para más opciones)</b>
Material del cuerpo	<b>Bronce o Acero Inoxidable</b>
Rangos de Presión	<b>Bronce 150 PSIG WSP</b> <b>Acero inoxidable 150 PSIG WSP</b>

WSP = Presión de trabajo del vapor



### APLICACIONES TÍPICAS

La válvula **WSTTV** ofrece un diagnóstico simple, inmediato y visible de cualquier trampa de vapor. Girando una simple manivela le proporcionará al instante datos operacionales de la trampa de vapor.

### COMO FUNCIONA

Con la válvula **WSTTV** instalada después de la trampa y en la posición abierta, la trampa de vapor descarga normalmente. Un cuarto de vuelta del mango reposiciona la bola de diseño especial y desvía la descarga de la trampa a través de un puerto en la parte inferior de la válvula. La descarga puede luego ser observada y realizar evaluaciones sobre el funcionamiento de la trampa de vapor.

### CARACTERÍSTICAS (Bronce)

- Puerto Completo
- Cuerpos de fundición de bronce
- Mango estándar de bloqueo de acero inoxidable

### CARACTERÍSTICAS (Acero inoxidable)

- Construida para cierre hermético
- Totalmente construida en acero inoxidable
- Totalmente compatible con la norma ASME B16.34 & API 608
- NACE MR-01-75 compliant
- Mango estándar de bloqueo de acero inoxidable
- Puerto reducido (Dependiendo del tamaño)

### INSTALACION

La válvula de prueba se debe montar en el lado de la salida de cualquier trampa de vapor. Se debe asegurar que el puerto de descarga se coloque de tal manera que evite el peligro para las personas. NO ES UNA VALVULA DE AISLAMIENTO O DE CORTE.

### MANTENIMIENTO

No necesita mantenimiento.

### MATERIALES (Bronce)

Descripción	Rango 150 lb.
Cuerpo	Bronce B584 C84400
Palanca	Latón B124 C27700
Bola	ASTM A276 Gr. 316 SST
Vástago	ASTM A276 Gr. 316 SST
Arandela de la Empaquetadura	Latón B16 C36000
Asiento (2)	R-TFM (Hostafion)
Empaque	25% Relleno de Carbón PTFE
Arandela de empuje	R-TFM (Hostafion)
Ensamble de manija	Acero inoxidable templado Serie 300
Tuerca manija	Acero inoxidable templado Serie 300

### MATERIALES (Acero inoxidable)

Descripción	150 lb. Rating
Cuerpo	CF8M
Palanca	CF8M
Bola	ASTM A276 Gr. 316 SST
Vástago	ASTM A276 Gr. 316 SST
Arandela de la Empaquetadura	ASTM A276 Gr. 316 SST
Asiento (2)	R-TFM (Hostafion)
Empaque	Graphite
Arandela de seguridad	R-TFM (Hostafion)
Empaque del vástago	Grafito
Arandela de presión	Acero inoxidable templado Serie 300
Handle Nut	Acero inoxidable templado Serie 300
Ensamble	Acero inoxidable templado Serie 300
Placa del fabricante	Acero inoxidable templado Serie 300

### COMO ORDENAR

Especifique el tamaño, presión y opciones, si es aplicable. Opciones adicionales disponibles; Consulte a la fábrica.

PRODUCTOS ESPECIALES

260

428 Jones Boulevard • Limerick Airport Business Center • Pottstown PA • 19464 • Tel: 610-495-5131 • Fax: 610-495-5134  
www.watsonmcdaniel.com

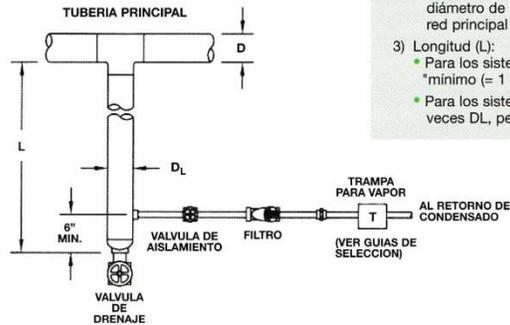
**Watson McDaniel**

Fuente: Watson McDaniel. *Catálogo de productos.* p. 236, 244, 246, 250, 254, 260.

## Anexo 8. Aplicaciones de trampas para vapor

### APLICACIONES DE TRAMPAS PARA VAPOR DISEÑO DE UNA PIERNA COLECTORA

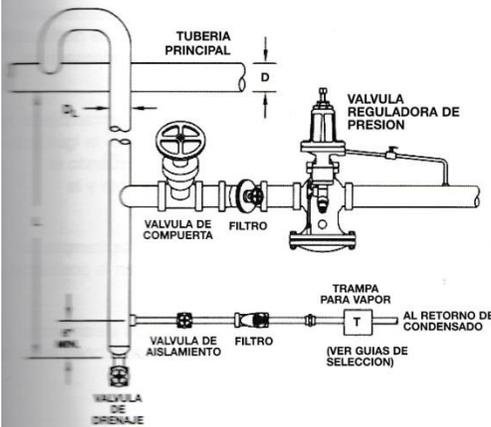
Figura 5:



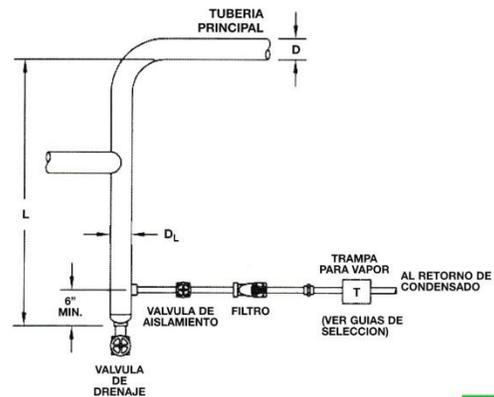
#### CRITERIO DE DISEÑO DE UNA PIERNA COLECTORA DE CONDENSADO:

- 1) Localice antes de válvulas, codos en la tubería (cambios de dirección), puntos bajos, final de la línea y tuberías rectas (máx. 200 pies de distancia).
- 2) Diámetro:
  - El diámetro de la pierna de colectora (DL) debe ser igual al diámetro de la red principal de vapor (D) para los medidas de la red principal de vapor de hasta 4"
  - El diámetro de la pierna colectora (DL) puede ser la mitad del diámetro de la red principal de vapor (D) para los medidas la red principal de vapor de más de 4", pero no menos de 4"
- 3) Longitud (L):
  - Para los sistemas con arranque automático, L debe ser de 28" mínimo (= 1 PSI de cabezal de presión como mínimo)
  - Para los sistemas de arranque supervisado, L debe ser 1,5 veces DL, pero no menos de 8"

#### DISEÑO ADECUADO DE LA PIERNA PIERNA COLECTORA



PIERNA COLECTORA ANTES DE LAS VALVULAS REGULADORAS O DE CONTROL



PIERNA COLECTORA EN UN CAMBIO BRUSCO DE DIRECCION O ELEVACION

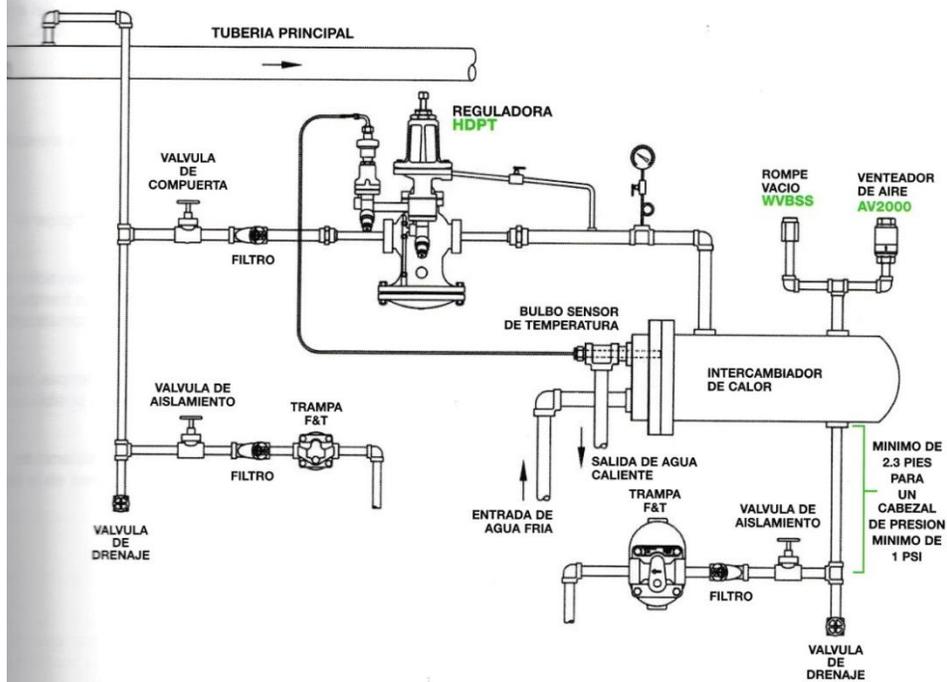
INGENIERIA

Continuación de anexo 8.

## APLICACIONES DE TRAMPAS PARA VAPOR

### TRAMPA PARA VAPOR PARA PROCESOS - DRENAJE POR GRAVEDAD DE UN EQUIPO DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Figura 6:



INTERCAMBIADOR DE CALOR DE TUBO Y CORAZA

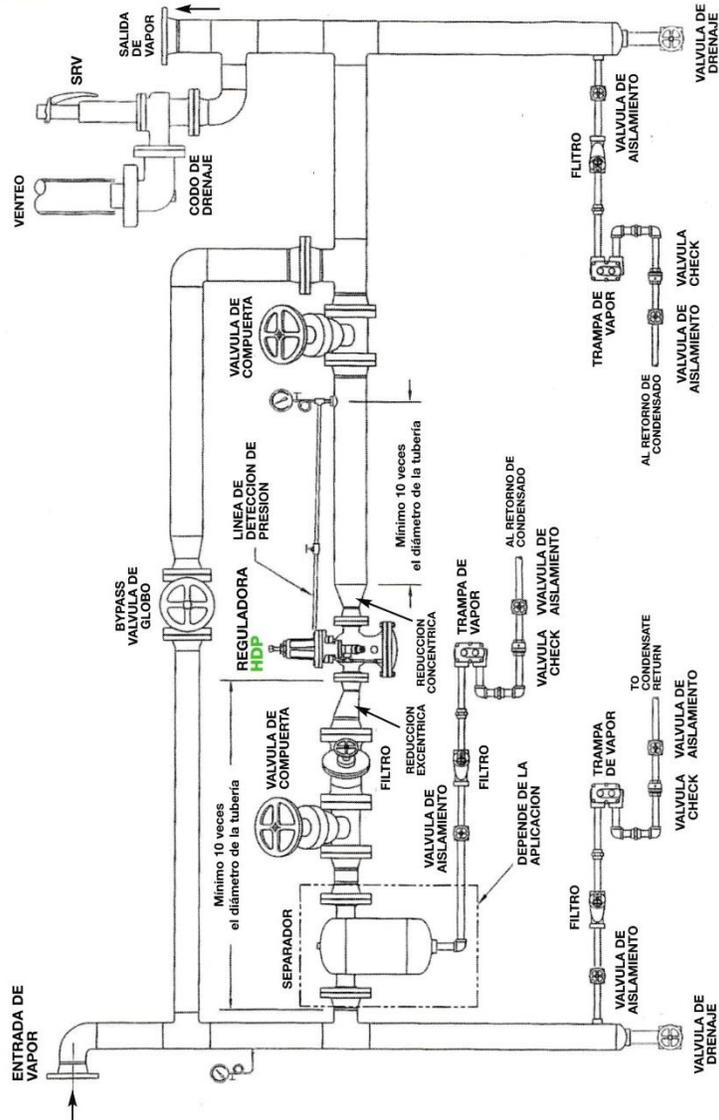
INGENIERIA

Anexo 9. Aplicaciones de válvulas reguladas

APLICACIONES DE VALVULAS REGULADORAS

ESTACION REDUCTORA DE PRESION DE UNA ETAPA USANDO UNA VALVULA PILOTEADA

Figura 8:



ESTACION DE REDUCCION DE PRESION DE UNA ETAPA USANDO UN RESORTE DE CARGA PILOTO (APLICACIONES DE REGULADORES HD)

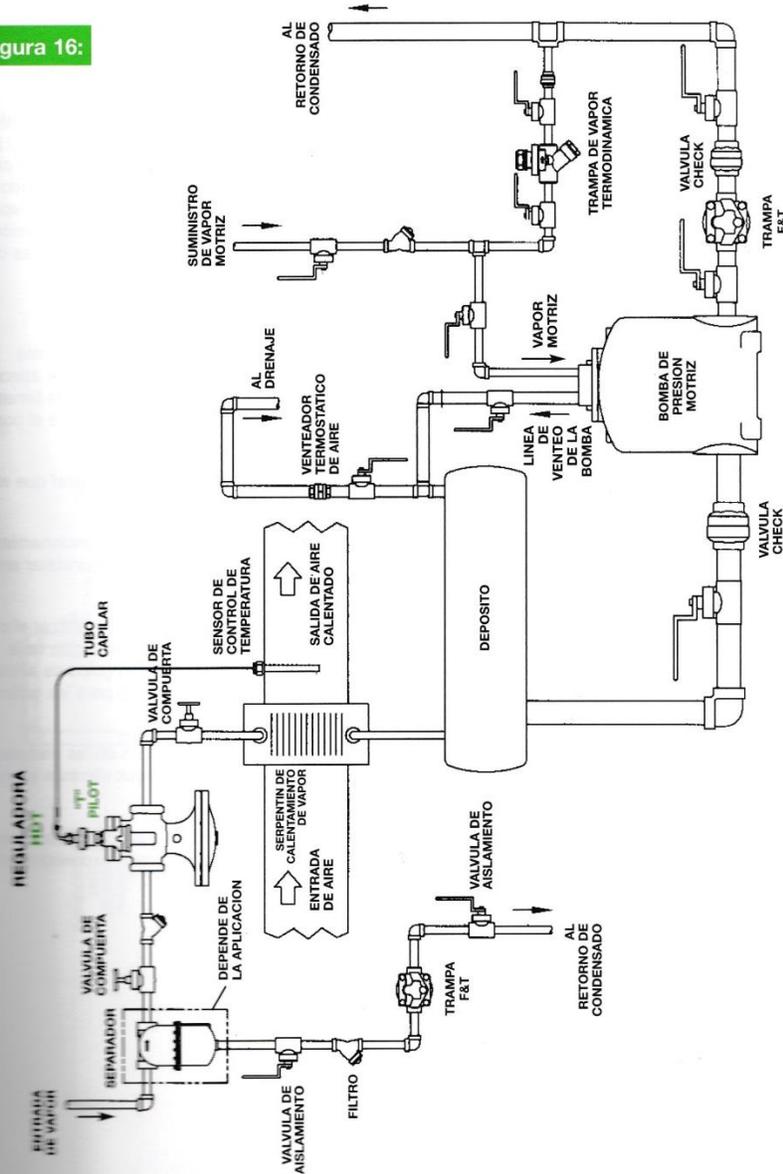
INGENIERIA



Anexo 10. **Aplicación de una bomba de presión motriz (PMP)**

**APLICACIONES DE UNA BOMBA DE PRESION MOTRIZ (PMP)**  
**DRENAJE DE UNA FUENTE DE CONDENSADO PARA UN SISTEMA DE LAZO CERRADO**

**Figura 16:**



**DRENAJE DE UNA FUENTES DE CONDENSADO PARA UN SISTEMA DE LAZO CERRADO**  
 (APLICACIONES DE LA BOMBA DE PRESION MOTRIZ)

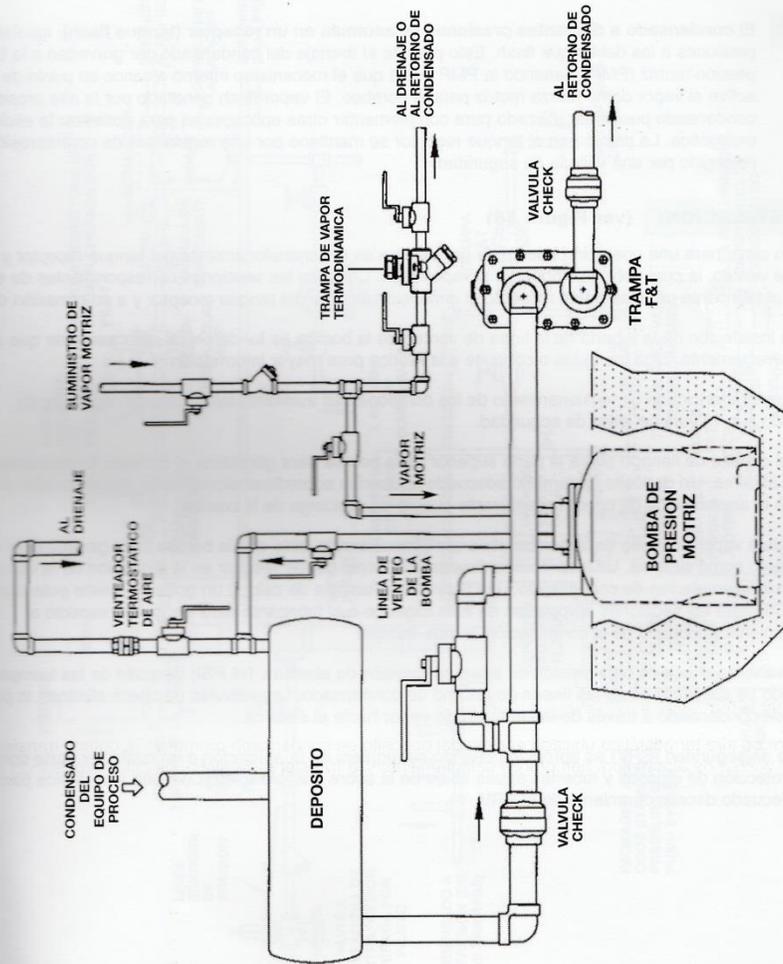
**INGENIERIA**

Continuación de anexo 10.

## APLICACIONES DE UNA BOMBA DE PRESION MOTRIZ (PMP)

DRENAJE de CONDENSADO POR DEBAJO DEL NIVEL de un SISTEMA DE LAZO CERRADO PARA ALCANZAR EL MINIMO CABEZAL DE LLENADO

Figura 17:



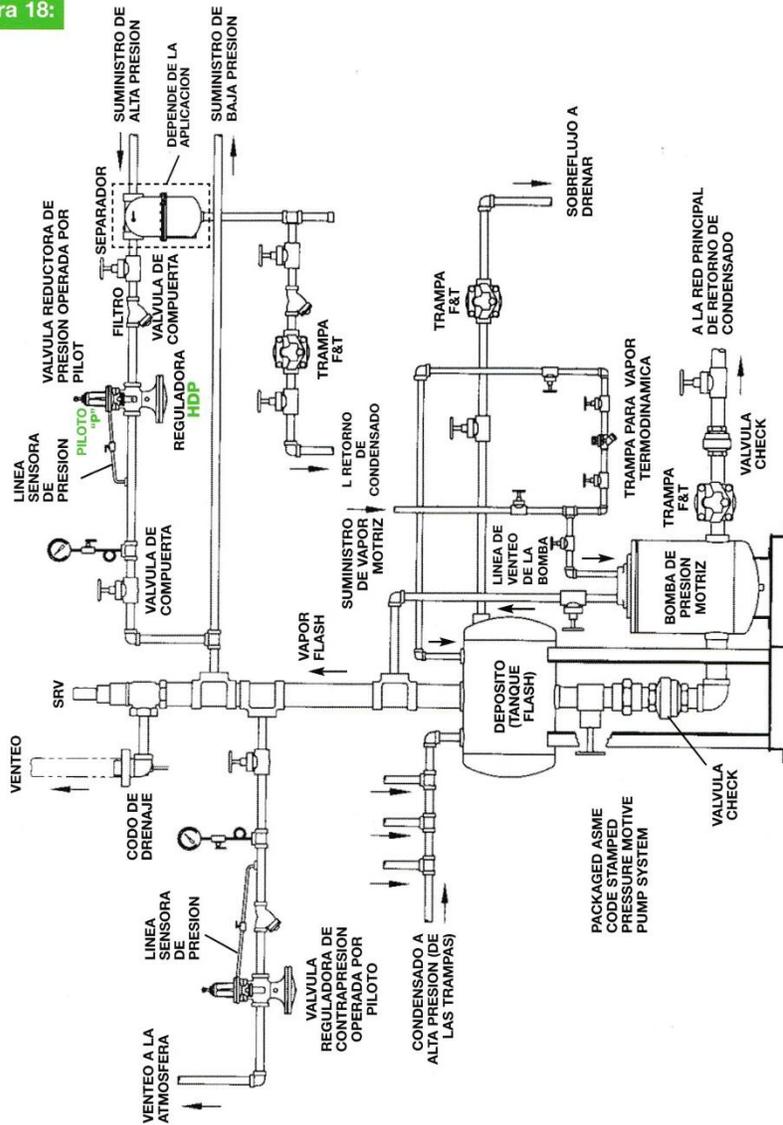
DRENAJE de CONDENSADO POR DEBAJO DEL NIVEL de un SISTEMA DE LAZO CERRADO para alcanzar una altura manométrica mínima (PARA APLICACIONES DE PMP)

INGENIERIA

Continuación de anexo 10.

## APLICACIONES DE UNA BOMBA DE PRESION MOTRIZ (PMP) RECUPERACION DE VAPOR FLASH

Figura 18:



TRAMPA DE VAPOR TERMODINAMICA  
( APLICACIONES DE PMP)

INGENIERIA

Continuación de anexo 10.



Fuente: Watson McDaniel. *Catálogo de productos*. p. 315,317,319.