



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

**DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA RECUPERACIÓN DE CONDENSADO Y
SU APROVECHAMIENTO EN LAS CALDERAS, OPTIMIZANDO LA
PRODUCCIÓN EN UNA EMPRESA DE TUBOS**

Hugo Rolando López Contreras
Asesorado por el Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí

Guatemala, marzo de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA RECUPERACIÓN DE CONDENSADO Y
SU APROVECHAMIENTO EN LAS CALDERAS, OPTIMIZANDO LA
PRODUCCIÓN EN UNA EMPRESA DE TUBOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

HUGO ROLANDO LÓPEZ CONTRERAS

ASESORADO POR EL ING. EDGAR DARÍO ALVAREZ COTÍ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, MARZO 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. Angel Roberto Sic García
EXAMINADOR	Ing. César Augusto Akú Castillo
EXAMINADORA	Inga. Nora Leonor García Tobar
EXAMINADOR	Ing. Julio Oswaldo Rojas Argueta
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA RECUPERACIÓN DE CONDENSADO Y SU APROVECHAMIENTO EN LAS CALDERAS, OPTIMIZANDO LA PRODUCCIÓN EN UNA EMPRESA DE TUBOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha noviembre de 2014.

Hugo Rolando López Contreras

Guatemala 06 de noviembre de 2015.

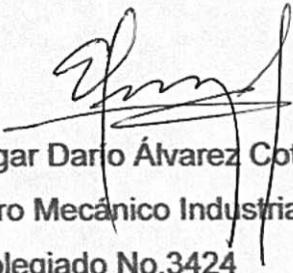
Ingeniero
Cesar Ernesto Urquizú Rodas
Director de la Escuela de Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Señor Director:

Por este medio me dirijo a usted para informarle que he asesorado y revisado el trabajo de graduación titulado **“DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA RECUPERACIÓN DE CONDENSADO Y SU APROVECHAMIENTO EN LAS CALDERAS, OPTIMIZANDO LA PRODUCCIÓN EN UNA EMPRESA DE TUBOS”**, elaborado por el estudiante Hugo Rolando López Contreras, con carné 2010-20304, previo a obtener el título de Ingeniero Mecánico Industrial, considero que cumple con los objetivos propuestos y me permito aprobarlo.

Por lo tanto, el autor de este trabajo y yo como asesor nos hacemos responsables del contenido del mismo.

Atentamente


Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado No.3424

Asesor

Edgar Darío Álvarez Cotí
Ing. Mecánico Industrial
Colegiado No. 3424



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA RECUPERACION DE CONDENSADO Y SU APROVECHAMIENTO EN LAS CALDERAS, OPTIMIZANDO LA PRODUCCIÓN EN UNA EMPRESA DE TUBOS**, presentado por el estudiante universitario **Hugo Rolando López Contreras**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Oswin Antonio Melgar
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, enero de 2016.

/mgp



REF.DIR.EMI.025.016

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 **DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA RECUPERACIÓN DE CONDENSADO Y SU APROVECHAMIENTO EN LAS CALDERAS, OPTIMIZANDO LA PRODUCCIÓN EN UNA EMPRESA DE TUBOS**, presentado por el estudiante universitario **Hugo Rolando López Contreras**, 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, marzo de 2016.

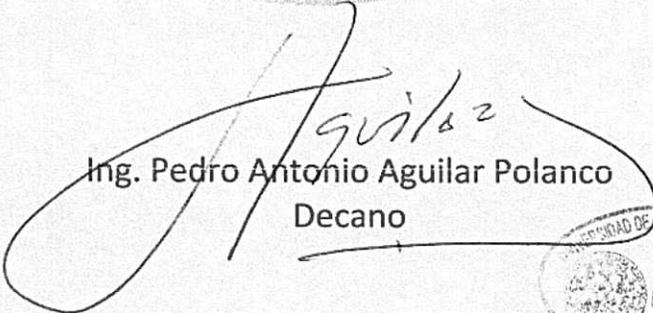
/mgp



DTG. 090.2016

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: **DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA RECUPERACIÓN DE CONDENSADO Y SU APROVECHAMIENTO EN LAS CALDERAS, OPTIMIZANDO LA PRODUCCIÓN EN UNA EMPRESA DE TUBOS,** presentado por el estudiante universitario: **Hugo Rolando López Contreras,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, marzo de 2016

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por iluminar mi camino y haberme permitido dar este gran paso.
- Mis padres** Pues este triunfo es de ustedes, ya que sin su amor, apoyo y confianza nada de esto hubiera sido posible.
- Lucinda Palacios** Por tu amistad, apoyo y confianza en mí.
- Mis amigos** Por su amistad y compañía durante nuestra etapa de estudiantes.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por ser parte y derramar tantas bendiciones en mi vida y la de mi familia.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme la oportunidad de estudiar, formarme como profesional y permitirme superarme como persona.
Facultad de Ingeniería	Por ser mi segundo hogar y acogerme durante mi etapa de estudiante.
Mis padres	Por su amor, apoyo, consejos y por brindarme la oportunidad de continuar mis estudios.
Lucinda Palacios	Por su amistad, consejos, apoyo y por creer en mí siempre.
Amigos	Por ser parte de mi vida y compartir tantos buenos recuerdos.
Empresa de Tubos	Por abrirme las puertas para la realización de mis prácticas finales y elaboración de este trabajo.

Laboratorio de Control de Calidad

A Jerson Herrera y Sergio Cosajay por compartir sus conocimientos y apoyarme en la elaboración del presente trabajo.

Taller mecánico

A Billy Solis, Melqui Sandoval, Rudy Oroshon, Juan Francisco, Jonas Reyes, Rodolfo García, Valentin Toledp, Erick Ortíz, Domingo Coc y Reginaldo Xol, por su amistad, apoyo y compartir conmigo sus conocimientos.

Inga. Luisa Yat

Por su ayuda, ya que sin usted este trabajo de graduación no hubiera sido posible.

Ing. Carlos Steiger

Por brindarme la oportunidad de elaborar mi trabajo de graduación en la Empresa de Tubos.

Ing. Juan Morales

Por su confianza y permitirme realizar mis practicas finales y trabajo de graduación en la Empresa de Tubos.

Ing. Edgar Cotí

Por apoyarme como mi asesor y ayudarme con la elaboración de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN.....	XXV
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. La Empresa de Tubos	1
1.1.1. Antecedentes históricos.....	1
1.1.2. Ubicación.....	3
1.1.3. Misión	4
1.1.4. Visión.....	4
1.1.5. Valores	5
1.1.6. Organigrama.....	6
1.1.7. Puestos y funciones.....	7
1.2. Departamento de Producción	10
1.2.1. Área de corte de lámina.....	11
1.2.2. Área de formación	11
1.2.3. Área de galvanizado	11
1.2.4. Área de estibado	12
1.3. Departamento de Mantenimiento.....	12
1.3.1. Talleres de mantenimiento	13
1.3.1.1. Mecánico	13
1.3.1.2. Tornos.....	13

	1.3.1.3.	Eléctrico.....	13
	1.3.1.4.	Herrería	13
1.4.		Productos	14
	1.4.1.	Cañería	14
	1.4.2.	Costaneras.....	15
	1.4.3.	Perfiles	16
	1.4.4.	Tubería.....	17
1.5.		Optimización.....	19
	1.5.1.	Definición	19
1.6.		Calderas.....	20
	1.6.1.	Tipos	20
	1.6.1.1.	Pirotubulares	20
	1.6.1.2.	Acuotubulares	22
2.		DIAGNÓSTICO SITUACIONAL	23
	2.1.	Área de galvanizado.....	23
	2.1.1.	Área de calderas	23
	2.1.1.1.	Tratamiento de agua	23
	2.1.1.1.1.	Diagrama de proceso.....	27
	2.1.1.1.2.	Equipos	28
	2.1.1.1.3.	Insumos	35
	2.1.1.2.	Producción de vapor.....	38
	2.1.1.2.1.	Diagrama de proceso.....	38
	2.1.1.2.2.	Equipos	40
	2.1.2.	Galvanizado	57
	2.1.2.1.	Diagrama de proceso	61
	2.1.2.2.	Productividad actual del proceso de soplado de tubos	69

3.	PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADO	73
3.1.	Vapor de agua	73
3.1.1.	Tipos de vapor de agua	73
3.1.1.1.	Vapor saturado	73
3.1.1.2.	Vapor húmedo	74
3.1.1.3.	Vapor sobrecalentado.....	74
3.2.	Condensado	74
3.3.	Sistemas de recuperación de condensado	74
3.3.1.1.	Sistemas de recuperación atmosféricos ..	75
3.3.1.2.	Sistemas de recuperación presurizados ..	76
3.4.	Área disponible para la instalación del sistema	77
3.4.1.	Distribución de los equipos en el área de calderas ...	78
3.5.	Recuperación de condensado	80
3.5.1.	Trampas de vapor	80
3.5.1.1.	Localización de las trampas de vapor.....	80
3.5.2.	Bomba de condensado	82
3.5.2.1.	Tipos.....	82
3.5.3.	Tanque de condensado	84
3.5.4.	Tubería	84
3.5.4.1.	Características.....	84
3.5.5.	Válvulas	84
3.5.5.1.	Tipos.....	84
3.5.5.1.1.	Válvula de paso.....	85
3.5.5.1.2.	Válvula de compuerta.....	85
3.5.5.1.3.	Válvula de globo.....	85
3.5.5.1.4.	Válvula de bolas	86
3.5.5.1.5.	Válvula de retención.....	87
3.5.6.	Medidor de presión	87

3.5.6.1.	Tipos o modelos	87
3.5.7.	Medidor de temperatura	89
3.5.7.1.	Tipos.....	89
3.6.	Equipos seleccionados.....	91
3.7.	Área requerida para la instalación del sistema.....	91
3.8.	Diseño del sistema de recuperación de condensado	92
4.	IMPLEMENTACION DE LA PROPUESTA	113
4.1.	Bomba de condensado	113
4.1.1.	Características	115
4.2.	Depósito de condensado.....	116
4.2.1.	Características	120
4.3.	Accesorios.....	120
4.3.1.	Tuberías	120
4.3.2.	Válvulas.....	122
4.3.3.	Medidor de presión.....	123
4.3.4.	Medidor de temperatura	123
4.4.	Recursos humanos	125
4.5.	Tiempo de instalación	125
4.6.	Costo de implementación	126
4.7.	Mantenimiento preventivo de la propuesta.....	127
4.8.	Mantenimiento correctivo de la propuesta.....	130
4.9.	Costo del mantenimiento.....	132
5.	MEJORA CONTINUA	139
5.1.	Producción de vapor	139
5.1.1.	Mejoras en el agua tratada.....	139
5.1.1.1.	Ahorros en el consumo de químicos	139
5.1.1.2.	Ahorros en el costo de químicos	139

5.1.1.3.	Hoja de verificación de consumo de químicos	140
5.1.2.	Mejoras en la operación de las calderas	141
5.1.2.1.	Duración del ciclo de trabajo.....	141
5.1.2.2.	Eficiencia	141
5.1.2.3.	Ahorros en el consumo de combustible .	145
5.1.2.4.	Ahorros en el costo del combustible	145
5.1.2.5.	Hoja de verificación del consumo de combustible.....	146
5.1.3.	Mejoras en el proceso de soplado de tubos galvanizados.....	146
5.1.3.1.	Productividad	147
5.1.4.	Control del sistema de recuperación	147
5.1.4.1.	Hojas de verificación de operación	148
5.1.4.2.	Hojas de verificación de mantenimiento	149
5.1.5.	Auditorías internas.....	153
CONCLUSIONES		157
RECOMENDACIONES.....		159
BIBLIOGRAFÍA.....		161
ANEXOS.....		163

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación de la Empresa de Tubos.....	3
2.	Organigrama de la Empresa de Tubos	6
3.	Productos	14
4.	Cañería	15
5.	Costaneras.....	16
6.	Perfiles	17
7.	Tubería.....	19
8.	Caldera pirotubular.....	21
9.	Caldera acuotubular	22
10.	Incrustaciones	24
11.	Químicos y medidor de sólidos	25
12.	Indicador de pH universal.....	26
13.	Diagrama de flujo de operaciones de tratamiento de agua	27
14.	Suavizadores Culligan.....	28
15.	Etapa de servicio.....	29
16.	Ciclo de regeneración	31
17.	Tanques de almacenamiento de agua	32
18.	Bomba dosificadora de químicos	33
19.	Bomba de alimentación de agua.....	34
20.	Diagrama de flujo de operaciones de producción de vapor	39
21.	Caldera Kewanee.....	40
22.	Área de tanques de bunker	42
23.	Trampa de vapor de balde invertido.....	46

24.	Trampa de vapor termodinámica de disco	47
25.	PosiTector.....	59
26.	Galvanizado de tubos	61
27.	Diagrama de flujo de operaciones de producción de vapor 1	62
28.	Diagrama de flujo de operaciones de producción de vapor 2	66
29.	Sistema de recuperación atmosférico.....	76
30.	Sistema de recuperación presurizado.....	77
31.	Área de calderas.....	79
32.	Trampas de vapor núm. 8 y núm. 3	81
33.	Bomba mecánica de condensado.....	83
34.	Bomba eléctrica de condensado.....	83
35.	Válvula de compuerta	85
36.	Válvula de globo	86
37.	Válvula de bolas.....	86
38.	Válvula de retención	87
39.	Medidor de presión de diafragma	88
40.	Medidor de presión tipo fuelle.....	88
41.	Medidor de presión de tubo de Bourdon.....	89
42.	Termómetro de vidrio.....	90
43.	Termómetro bimetalico	90
44.	Termómetro de bulbo y capilar	91
45.	Sistema de recuperación de condensado 1	92
46.	Sistema de recuperación de condensado 2.....	93
47.	Gráfica para determinar el diámetro de tuberías de condensado	97
48.	Coeficientes de resistencia	101
49.	Pérdidas locales en los diferentes accesorios	103
50.	Valores de diseño de la rugosidad de tubos	104
51.	Puntos de referencia en el sistema.....	109
52.	Curva de operaciones de la bomba de agua	114

53.	Depósito de condensado.....	116
54.	Diagrama de flujo de operaciones de elaboración del depósito de condensado.....	117
55.	Programa de mantenimiento del depósito de condensado	128
56.	Diagrama de flujo de efectivo.....	136
57.	Hoja de verificación del consumo de químicos	140
58.	Flujos de condensado	143
59.	Hoja de verificación del consumo de bunker núm. 6.....	146
60.	Hoja de parámetros del sistema.....	148
61.	Hoja de parámetros del condensado.....	149
62.	Orden de trabajo	150
63.	Resumen del avance del programa de mantenimiento	152
64.	Ejemplo del gráfico control para tratamiento de fallas.....	154
65.	Ejemplo del formato de seguimiento	155

TABLAS

I.	Puestos y funciones	7
II.	Tanques de alimentación	32
III.	Especificaciones de la bomba dosificadora de químicos	33
IV.	Bombas de alimentación de agua	35
V.	Costo de los químicos.....	38
VI.	Características del bunker núm. 6.....	42
VII.	Consumo de bunker.....	43
VIII.	Costo de bunker.....	44
IX.	Temperatura del condensado	48
X.	Flujo volumétrico de condensado.....	49
XI.	Masa de un galón de condensado	50
XII.	Flujo másico de condensado.....	52

XIII.	Calor perdido	54
XIV.	Volumen anual de condensado	57
XV.	Tubos galvanizados	70
XVI.	Distribución del área en el cuarto de calderas	78
XVII.	Diámetros de las tuberías de condensado.....	98
XVIII.	Pérdidas de carga por fricción y accesorios	108
XIX.	Bomba de agua.....	115
XX.	Bomba de condensado	115
XXI.	Depósito de condensado	120
XXII.	Tubería	121
XXIII.	Accesorios de tubería	121
XXIV.	Aislante térmico	122
XXV.	Válvulas	122
XXVI.	Manómetros de tubo de Bourdon	123
XXVII.	Termómetro bimetalico	124
XXVIII.	Medidor de nivel.....	124
XXIX.	Recursos humanos.....	125
XXX.	Instalación del sistema de recuperación de condensado.....	126
XXXI.	Costo de implementación	127
XXXII.	Programa de mantenimiento de la bomba de condensado.....	128
XXXIII.	Programa de mantenimiento de la bomba de agua	129
XXXIV.	Programa de mantenimiento de los accesorios	129
XXXV.	Mantenimiento correctivo depósito de condensado	130
XXXVI.	Mantenimiento correctivo bomba de condensado	130
XXXVII.	Mantenimiento correctivo bomba de agua	131
XXXVIII.	Mantenimiento correctivo accesorios de tubería.....	131
XXXIX.	Costo del mantenimiento	132
XL.	Flujo de caja primera parte	133
XLI.	Flujo de caja segunda parte.....	134

XLII.	Ahorros en el costo de los químicos	140
XLIII.	Flujo másico de vapor	142

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Bar	Bares
BHP	Caballos de caldera
HP	Caballos de fuerza
cm²	Centímetros cuadrados
DC	Corriente directa
∅	Diámetro
gal	Galones
°Be	Grados Baumé
°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit
h	Horas
Kcal	Kilocalorías
kg	Kilogramos
Lb	Libras
PSI	Libras por pulgada cuadrada
l	Litros
m	Metros
m²	Metros cuadrados
m³	Metros cúbicos
min	Minutos
mA	Miliamperios
mm	Milímetros
π	Pi

ft²	Pies cuadrados
%	Porcentaje
pH	Potencial de hidrógeno
ppm	Partes por millón
Q	Quetzales
rpm	Revoluciones por minuto
Btu	Unidad térmica británica

GLOSARIO

Bobina de lámina	Rollos de lámina utilizada para la producción de tuberías y costaneras, puede ser del tipo rolada en frío o rolada en caliente.
<i>Buffer</i>	Mezcla en concentraciones elevadas de un ácido débil y su base conjugada, empleado para mantener estable el pH de una disolución frente a la adición de cantidades relativamente pequeñas de ácidos o bases fuertes.
<i>Bypass</i>	Derivación de tubería que permite el flujo de un fluido cuando la tubería principal se encuentra bloqueada o cerrada.
Calibre	Diámetro interior de un cuerpo cilíndrico.
Calor	Energía producida por la vibración acelerada de las moléculas que se manifiesta en el incremento de la temperatura de los cuerpos.
Cañuela	Material aislante fabricado con fibras de vidrio, el cual tiene forma tubular y es utilizado para disminuir la transferencia de calor de las tuberías de condensado y vapor hacia el exterior.

Capilar	Tubo muy delgado.
Carga de la bomba	Representa la energía que debe suministrar el elemento mecánico al fluido para incrementar su energía potencial, cinética y de presión de una condición inicial a una final; compensando incluso cualquier pérdida de energía sufrida en el sistema debido a la fricción en las tuberías y accesorios que lo conducen.
Chapa	Lámina de metal.
Cimentación	Construcción de concreto empelada para soportar el peso y vibración generada por los equipos durante su funcionamiento.
Desembobinadora	Elemento electromecánico encargado de hacer rotar un rollo o bobina de lámina para ser desenrollada.
Dureza	Concentración de compuestos minerales que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio.
Eficiencia térmica	Porcentaje del calor suministrado por el combustible que es aprovechado para generar vapor.
Embobinadora	Elemento electromecánico encargado de enrollar a las tiras de acero.

Entalpía	Magnitud termodinámica de un cuerpo físico o material equivalente a la suma de su energía interna más el producto de su volumen por la presión exterior.
Estibado	Carga, descarga y distribución en forma ordenada de los productos.
Grava	Rocas con un tamaño comprendido entre 2 y 64 mm.
Gusanos	Pieza de acero en forma de tornillo sin fin, encargada de sumergir el tubo en la pila de galvanizado.
Incrustación	Adherencia de minerales y sólidos disueltos en el agua tratada a las tuberías de agua y vapor de las calderas.
Lingote	También llamado palanquilla, es un trozo o barra de metal en bruto, que se obtiene vaciando el metal líquido en un molde.
Mils	Equivale a 180 gramos de zinc por metro cuadrado de superficie de acero.
Obturador	Elemento mecánico empleado para variar la sección de paso en una tubería, regulando el caudal y provocando cierta caída de presión en la misma.

Paila	Parte del horno que consiste en un recipiente de acero donde se funde el zinc y es realizado el galvanizado de tubos.
Poder calorífico	Cantidad de energía que desprende la unidad de masa de un combustible cuando este se quema.
Polines	Trozo de madera prismático de longitud variable, que sirve para levantar del suelo diversos objetos.
PosiTector	Equipo empleado para medir el grosor de la capa de zinc en los tubos galvanizados.
Reguilete	Accesorio empleado para desenrollar las tiras de acero y suministrarlas de forma continua a las máquinas formadoras para la producción de tubería, cañería y costaneras.
Resina	Pequeñas esferas de materiales plásticos, las cuales pueden intercambiar iones hidrógeno por cualquier catión que encuentren o intercambiar cualquier anión por iones hidróxido.
Sedimento	Materia que tras haber estado suspensa en un líquido se posa en el fondo del recipiente que la contiene.

SQI 700	Químico empleado en el tratamiento de agua para prevenir la formación de carbonato de calcio y carbonato de magnesio.
SQI 1450	Químico empleado en el tratamiento de agua para proteger a las tuberías de vapor y retorno de condensado contra la acción corrosiva del ácido carbónico.
SQI 1700	Químico empleado en el tratamiento de agua para inhibir la corrosión y reducir la dureza que posee el agua suave.
Termodinámica	Rama de la física que estudia los efectos de los cambios de la temperatura, presión y volumen de los sistemas físicos y macroscópicos, así como la circulación de la energía y cómo esta infunde movimiento.
Titulante	Solución de concentración conocida que se utiliza para conocer la concentración de otra, por medio de un vire (cambio de color) como indicador.
Turbidez	Falta de transparencia en un líquido debido a la presencia de partículas en suspensión.

RESUMEN

El estudio llevado a cabo en la Empresa de Tubos se realizó para plantear una propuesta que permita optimizar los recursos empleados en el proceso de producción de vapor.

En el presente trabajo se determinó la situación actual en el área de calderas mediante una serie de mediciones que dieran a conocer la temperatura, flujo volumétrico y masa de condensado eliminado anualmente del sistema de vapor. Después, con estos datos se determinó el calor y su equivalente en galones de bunker núm. 6 que son desaprovechados al no reutilizar este fluido, también se determinó la cantidad de tubos galvanizados y productividad del proceso de soplado en el horno.

Luego de determinar la situación actual de la empresa se realizó el diseño del sistema de recuperación de condensado, se seleccionaron los equipos, instrumentos, accesorios y recursos necesarios para su implementación.

Posteriormente se determinaron los ahorros en el consumo de agua, bunker y químicos, mejoras en la productividad del proceso de soplado de tubos e incremento en la eficiencia de la caldera de marca Kewanee que se obtendrían mediante la implementación de esta propuesta. Se elaboró una serie de formatos de mantenimiento y consumo de los recursos para monitorear los resultados y determinar indicadores que le permitirán al encargado del área de mantenimiento detectar cualquier anomalía y posibilidades de mejora.

OBJETIVOS

General

Diseñar un sistema de recuperación de condensado y su aprovechamiento en las calderas, optimizando la producción en la Empresa de Tubos.

Específicos

1. Establecer los costos actuales de la producción de vapor de agua, a través de los registros del consumo de combustible, químicos y agua.
2. Determinar la cantidad de condensado generado en las tuberías de vapor y que es desechado al medio ambiente mediante mediciones de volúmenes.
3. Disminuir los costos del combustible utilizado para generar vapor mediante el aprovechamiento de la energía que posee el condensado a reutilizar.
4. Disminuir los costos del tratamiento químico del agua utilizada para generar vapor, mediante el aprovechamiento del tratamiento químico que posee el condensado a reutilizar.
5. Optimizar el proceso de producción de vapor mediante el uso eficiente de los recursos empleados en este proceso.

6. Reducir los desperdicios generados en el proceso de producción de vapor.
7. Incrementar la productividad en el proceso de galvanizado de tubos debido a las reducciones del consumo en el proceso de producción de vapor.

INTRODUCCIÓN

Actualmente las empresas buscan mejorar continuamente sus procesos empleando de una forma más eficiente los recursos invertidos en ellos, para de mejorar su productividad.

En la Empresa de Tubos han habido grandes cambios para mejorar continuamente en este sentido, pero aún existen algunos procesos que requieren mejoras, como el proceso de producción de vapor, pues parte del vapor que se condensa en las tuberías y equipos que lo conducen o utilizan es eliminado del sistema de vapor y desechado en los drenajes aledaños al área de galvanizado, perdiendo con ello un gran volumen de agua con un alto contenido energético y con un tratamiento químico previo.

El presente trabajo de graduación pretende mejorar el proceso de producción de vapor y de forma simultánea incrementar la productividad del proceso de soplado de tubos en el horno de galvanizado, al diseñar un sistema que permita recuperar el condensado que actualmente se desecha y lograr una reducción en el consumo y costo del agua, combustible y químicos empleados para producir el vapor.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. La Empresa de Tubos

La Empresa de Tubos inició sus operaciones en 1961. Esta planta tiene una capacidad de producción de 4 100 toneladas métricas y se dedica a la transformación de productos derivados del acero para la fabricación de costaneras, cañería y distintos tipos de tubería para uso industrial, doméstico y otras aplicaciones.

1.1.1. Antecedentes históricos

En 1953 empezó el camino y sueño de una empresa, que luego sería pionera y líder en la industria siderúrgica de Centroamérica.

En 1956 se inaugura el primer punto de venta llamado Distribuidora Universal, con nombre comercial Distun, ubicada desde su inicio en la 20 calle 7-62 zona 1 de la ciudad de Guatemala. Se dedicaba a la venta de productos procedentes del acero y productos utilizados para la construcción.

En 1963 inicia sus operaciones Aceros de Guatemala como empresa individual en la 33 calle 25-05 zona 12 de la ciudad de Guatemala, dedicándose en sus inicios a la fabricación de clavos con varias máquinas de alta tecnología.

En 1970 se instala, en la planta de Aceros de Guatemala, una nueva laminadora moderna y electrónica de la casa J. Banning de Alemania, con capacidad de tres mil toneladas al mes, la cual, partiendo de la palanquilla de

acero, fabricaba alambión, que es la materia prima que se utiliza en todas las secciones de alambre y varilla de hierro para la construcción desde 3/16" a 1 1/4".

En 1974 se funda la empresa Hornos, S. A. con la instalación de dos hornos eléctricos de arco y equipo complementario por el sistema de lingoteras, cuyo producto intermedio es la producción de lingote de acero, partiendo de la chatarra como materia prima básica, con una capacidad de producción de mil toneladas por mes.

En 1987 se compra la planta de la Empresa de Tubos a la empresa U.S. Steel, dedicada a la fabricación de tubería y perfiles metálicos, que comenzó a laborar el 17 de julio de 1961 con la administración anterior. Se adquirieron dos líneas marca American, para la fabricación de tubería industrial (capacidad de 2 000 toneladas), dos líneas para la fabricación de tubería negra (capacidad de 1 500 toneladas) y una línea de galvanizado de tubería de 1/2 hasta 4" (capacidad de 800 toneladas).

En 1991 se compró un terreno de 280 018,18 metros cuadrado en la finca El Coco, Masagua, Escuintla, para la instalación de un centro de energía para la instalación de la siderúrgica. Esta fue la primera piedra para el inicio de la construcción de Sidegua en ese mismo año. En 1994 Sidegua inicia sus operaciones con una máquina de colada continua en un horno para producir palanquilla.

En 1995 Aceros de Guatemala compra la planta Indeta, fundada por la familia Seveira en 1960 para la fabricación de clavos y alambres, con maquinaria marca Wafios y Koch, ambas de tecnología alemana.

Actualmente, las plantas Hornos S. A., Indeta y Aceros de Guatemala han sido trasladadas a Sidegua, debido a su capacidad y a la facilidad de tener un mayor control en la producción, ya que es la única planta que actualmente opera en la ciudad de Guatemala.

1.1.2. Ubicación

La Empresa de Tubos se encuentra ubicada en la 9 avenida 3-17, colonia Alvarado, zona 2, Mixco del departamento de Guatemala.

En la figura 1 se observa un mapa digital que detalla gráficamente la ubicación de la empresa.

Figura 1. **Ubicación de la Empresa de Tubos**



Fuente: *Google Maps*. www.googlemaps.com. Consulta: octubre de 2015.

1.1.3. Misión

Es el propósito o razón de ser de una empresa, el motivo por el cual existe y la especificación de las funciones básicas que la empresa va a desarrollar en un ambiente determinado para conseguirla.

En la misión se suele definir a la empresa, cuáles son sus intenciones y a qué negocios se dedica. Además, permite describir los bienes o servicios que se ofrecen o prestan, las necesidades del cliente que se busca satisfacer y los mercados que atiende actualmente la empresa, así como de los que se desea participar en un futuro.

La misión de la Corporación Aceros de Guatemala es compartida con cada una de las diferentes empresas que la conforman, siendo una de ellas la Empresa de Tubos. La misión de esta corporación es la siguiente:

“En Corporación Aceros de Guatemala, fabricamos y distribuimos productos de acero con calidad certificada en un ambiente seguro, con un equipo humano especializado y motivado; comprometidos con nuestros clientes, la sociedad y el cuidado del medio ambiente”.¹

1.1.4. Visión

Expresa las aspiraciones y sueños que posee la empresa, con la finalidad de visualizar a futuro como se quiere, espera y desea que se encuentre la empresa. Va enfocada a penetrar en el corazón y la razón de sus integrantes, con la finalidad de que sea compartida con ellos y se unifiquen esfuerzos para alcanzarla.

¹ Corporación Aceros de Guatemala.

Se realiza formulando una imagen ideal del proyecto y poniéndola por escrito, a fin de crear el sueño (compartido por todos los que tomen parte en la iniciativa) de lo que debe ser en el futuro la empresa.

La visión de la Corporación Aceros de Guatemala es compartida con cada una de las diferentes empresas que la conforman, siendo una de ellas la Empresa de Tubos. La visión de esta corporación es la siguiente:

“Mantener el liderazgo en Guatemala y el resto de Centro América, en la fabricación y distribución de productos de acero para la construcción y otros sectores; identificados y comprometidos con los altos estándares de la siderurgia a nivel internacional”.²

1.1.5. Valores

Son el conjunto de principios y creencias que rigen el comportamiento y forma de ser de las empresas y de todos y cada uno de sus miembros. Estos representan los pilares que indican las pautas de conducta a seguir y el grado de compromiso de la empresa para cumplirlos.

Los valores que rigen la conducta y toma de decisiones en las actividades que se desarrollan dentro de la Empresa de Tubos son los siguientes:

- Honestidad y rectitud
- Actitud responsable
- Calidad en todo lo que se hace
- Personas leales, comprometidas y realizadas
- Seguridad en el ambiente de trabajo
- Cliente satisfecho

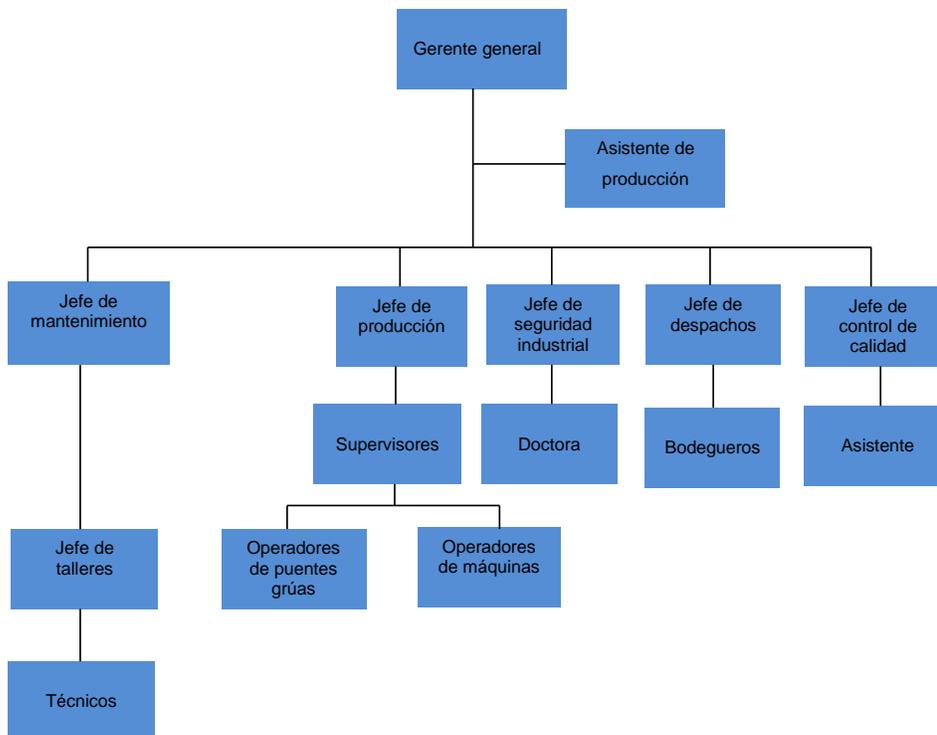
² Corporación Aceros de Guatemala

1.1.6. Organigrama

Es la representación gráfica de la estructura organizacional que posee una empresa, en ella se muestran los diferentes departamentos, áreas, puestos, niveles de mando, relaciones e interacciones que existen entre los mismos.

Es una herramienta administrativa que tiene la finalidad de mostrar las relaciones de jerarquía y competencias en una organización, ya sea de manera informativa para los integrantes de la empresa o para un análisis del mismo por parte de sus altas autoridades. El organigrama de la Empresa de Tubos se presenta a continuación.

Figura 2. Organigrama de la Empresa de Tubos



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

1.1.7. Puestos y funciones

Para esta empresa y su organización son los siguientes.

Tabla I. Puestos y funciones

Puesto	Funciones	Perfil	Competencias
Gerente general	Es el encargado de la planta de producción, todos los departamentos están bajo su cargo. Él toma las decisiones importantes, autoriza los pedidos de materia prima, repuestos, accesorios, entre otros. Es el único que puede autorizar y realizar excepciones para la aplicación de ciertos proyectos, tareas o actividades.	Hombre 35 años de edad. 5 años de experiencia como gerente de planta. Ingeniero industrial, mecánico industrial o mecánico.	Capacidad para tomar decisiones, trabajar en equipo y bajo presión. Conocimiento de técnicas de negociación, gerencia y administración.
Asistente de producción	Es el encargado de llevar al día la papelería relacionada con los pedidos, la producción y de informar sobre los eventos importantes de la empresa al gerente general.	Hombre. 30 años de edad. 2 años de experiencia como asistente de producción. Ingeniero industrial o mecánico industrial.	Habilidad numérica y de comunicación. Conocimiento de gerencia, administración y producción.
Jefe de mantenimiento	Es el encargado de planificar y velar porque cada uno de los talleres a su cargo cumplan con brindarle mantenimiento preventivo o correctivo a los equipos y maquinaria, permitiendo que estas puedan estar en óptimas condiciones, manteniendo la producción continua y evitando cualquier interrupción que perjudique o afecte a la empresa.	Hombre. 28-40 años de edad. 5 años de experiencia como jefe de mantenimiento. Ingeniero mecánico industrial o mecánico.	Capacidad para la toma de decisiones, trabajar en equipo, y bajo presión. Habilidad numérica y de comunicación. Conocimientos de maquinaria industrial y de mantenimiento.
Jefe de taller	Es el encargado de designar, supervisar y, en algunos casos, de desarrollar las diferentes tareas relacionadas con el mantenimiento de los equipos, de forma correcta y según lo planificado.	Hombres. 25 años de edad. 3 años de experiencia como mecánico, soldador o electricista industrial. Técnico en mecánica industrial, soldador o electricista industrial.	Capacidad para dirigir y trabajar en equipo. Conocimientos de mecánica, electricidad, soldadura y maquinaria industrial.

Continuación de la tabla I.

Técnicos	Son los encargados de ejecutar el mantenimiento mecánico, eléctrico y estructural sobre los equipos, máquinas e instalaciones de la planta de producción.	Hombres. 20 años de edad. 1 año de experiencia como mecánico, soldador o electricista industrial. Técnico en mecánica o electricidad industrial.	Conocimientos de mecánica, electricidad, soldadura y maquinaria industrial.
Jefe de producción	Es el encargado de elaborar el programa de producción, establecer estándares, monitorear los avances en el programa y la calidad de los productos, supervisar continuamente el trabajo realizado por los supervisores y operarios del área de producción y buscar soluciones rápidas a los problemas que se puedan presentar.	Hombre o mujer. 28 años de edad. 2 años de experiencia como supervisor de producción. Ingeniero industrial o mecánico industrial.	Capacidad de trabajo en equipo y toma de decisiones. Habilidad numérica, de comunicación y trabajar bajo presión. Conocimiento de procesos de manufactura y producción.
Supervisores de producción	Son los encargados de monitorear el proceso y trabajo de los operarios en el área de producción, verificando que se cumplan los estándares establecidos por el Departamento de Producción.	Hombre o mujer. 20-25 años de edad. 1 año de experiencia como supervisor de producción. Estudiante de tercer año de Ingeniería industrial o mecánica industrial.	Capacidad para dirigir, trabajar en equipo y bajo presión. Habilidad numérica y de comunicación. Conocimientos de procesos de manufactura y de producción.
Operadores del puente grúa	Son los encargados de transportar las bobinas de acero de la bodega de almacenamiento a las máquinas cortadoras, las tiras del área de corte a los reguiletes de las máquinas formadoras, los tubos a través de los diferentes tanques de químicos y horno de galvanizado y, por último, los productos de la bodega de producto terminado a los camiones que ingresan a la planta de producción y que los llevarán a los diferentes puntos de venta.	Hombre. 20 años de edad. 2 años de experiencia como operario de grúas. Bachiller industrial.	Habilidad de manejo y comunicación.
Operadores de máquinas	Son los encargados de operar las máquinas formadoras, alinear, cambiar y realizar ajustes en sus rodos de formación, ya sea por mantenimiento o por un cambio en el tipo de producto a producir.	Hombre. 20 años de edad. 1 año de experiencia como operario. Bachiller industrial.	Capacidad para trabajar en equipo. Habilidad de comunicación.

Continuación de la tabla I.

Jefe de seguridad industrial	Es el encargado de elaborar y establecer normas y reglamentos que ayuden a resguardar la salud de los trabajadores, velar porque estos lineamientos se cumplan, llevar registro del número y tipo de accidentes e incidentes ocurridos dentro de la planta y, por último, de capacitar y concientizar a los trabajadores sobre la importancia de la seguridad en el trabajo.	Hombre o mujer. 28 años de edad. 3 años de experiencia como asistente de seguridad industrial. Ingeniero industrial o mecánico industrial.	Capacidad para dirigir, trabajar en equipo y bajo presión. Habilidad de comunicación. Conocimientos de seguridad industrial, normas OSHA e ISO.
Medico	Es la encargada de velar por la salud de los trabajadores de la empresa, brindándoles atención médica en caso de enfermedad o accidente.	Mujer. 28 años de edad. 5 años de experiencia. Doctor.	Habilidad de comunicación. Conocimientos de medicina general y primeros auxilios.
Jefe de despachos	Es la persona encargada de inspeccionar que los productos terminados son almacenados de forma correcta y segura en las bodegas, colocados de igual forma en los camiones utilizados para su distribución, y, de llevar un registro de la cantidad de productos que se ha despachado y almacenado.	Hombre. 25 años de edad. 2 años de experiencia como encargado de bodega. Bachiller industrial Estudiante de tercer año de ingeniería industrial o mecánica industrial.	Capacidad para trabajar en equipo y bajo presión. Habilidad de comunicación. Conocimientos de manejo de inventario.
Bodegueros	Son los encargados de colocar el producto terminado de forma correcta y segura en las bodegas y en los camiones que lo llevarán hacia los puntos de venta.	Hombre. 20 años de edad. 1 año de experiencia como encargado de bodega. Perito contador. Estudiante de segundo año de Ingeniería industrial o mecánica industrial.	Capacidad para trabajar bajo presión. Conocimiento de manejo de inventarios.
Jefe de control de calidad	Es la persona encargada de establecer estándares y normas de calidad sobre la materia prima, procesos de decapado y fluxado de tubería, espesor de la capa de zinc de los tubos galvanizados, pruebas de resistencia hidráulica de la tubería, entre otros. Además, vela continuamente por la mejora y cumplimiento de estos lineamientos mediante la ejecución de una serie de pruebas de campo y laboratorio.	Hombre o mujer. 28 años de edad. 3 años de experiencia como supervisor de calidad. ingeniero industrial, químico o mecánico industrial.	Capacidad para dirigir, trabajar en equipo y bajo presión. Habilidad para la comunicación y numérica. Conocimientos de control de calidad, químicos, aleaciones metálicas, normas ISO y equipo de laboratorio.

Continuación de la tabla I.

Supervisores de control de calidad	Es el encargado realizar las pruebas de campo y laboratorio para verificar el cumplimiento de los estándares y normas de calidad establecidos por el Departamento de Control de Calidad.	Hombre o mujer. 23 años de edad. 1 año de experiencia como supervisor de calidad. Estudiante de cuarto año de ingeniería industrial, química o mecánica industrial.	Capacidad para trabajar en equipo y dirigir. Habilidad numérica y de comunicación. Conocimientos de equipo de laboratorio y normas ISO.
Jefe de recursos humanos	Es la persona encargada de realizar el proceso de dotación de personal, velar porque los trabajadores reciban el pago de su sueldo a tiempo, autorizar las capacitaciones y permisos, extender cartas de despido y llevar la papelería de cada uno de los trabajadores de la empresa de forma ordenada.	Mujer. 28 años de edad. 5 años de experiencia como asistente de recursos humanos. Psicóloga industrial o ingeniera industrial.	Habilidad de comunicación. Conocimientos de psicología, procesos de dotación de personal y manejo de planillas.
Asistente de recursos humanos	Es el encargado de asistir al jefe de recursos humanos en todas las actividades que este desempeña, así como de entregar las boletas de la planilla a los trabajadores.	Mujer. 22 años de edad. 1 año de experiencia como asistente de recursos humanos. Estudiante de tercer año de psicología o ingeniería industrial.	Habilidad de comunicación. Conocimientos de psicología, procesos de dotación de personal y manejo de planillas.

Fuente: elaboración propia.

1.2. Departamento de Producción

Este departamento es el encargado de planificar y controlar la producción de los diferentes productos que se fabrican en la Empresa de Tubos.

1.2.1. Área de corte de lámina

En esta área se realiza el corte de las bobinas de acero en tiras de diferentes anchos y espesores, que son utilizadas para la fabricación de los diferentes tipos de productos.

Está área cuenta con máquinas desembobinadoras, cortadoras, guías y embobinadoras, empleadas para realizar el proceso de corte y con ello suministrar de materia prima (tiras) a las diferentes máquinas formadoras que conforman las líneas de producción.

1.2.2. Área de formación

En esta área se realiza el proceso de formación de tuberías, cañerías y costaneras.

Esta área cuenta con máquinas formadoras de tubería, cañería y costaneras, así como también equipos de soldadura oxiacetilénica para realizar la unión de tiras cuando la que se está utilizando en la máquina formadora está a punto de acabarse, permitiendo la producción continua de los productos. Otro equipo empleado en esta área es una máquina metalizadora que realiza el galvanizado de algunos de los productos.

1.2.3. Área de galvanizado

Se realizan los procesos de producción de vapor, limpieza y preparación de los productos con químicos, también se efectúa el proceso de galvanizado en el horno.

Está área cuenta con tanques de químicos, puentes grúa, calderas y un horno de galvanizado.

1.2.4. Área de estibado

Luego de su fabricación, el producto terminado es almacenado en el área de estibado, en donde se quedará almacenado hasta su posterior descarga en los camiones que lo transportaran a los diferentes puntos de venta para su comercialización.

Esta área cuenta con equipos como puentes grúa, empleados para transportar los atados de tubos de un lugar a otro; equipos de presión para lubricar los tubos evitando que estos se oxiden con el paso del tiempo; polines para estibar el producto de forma correcta en las galeras, evitando que estos sufran golpes y escaleras para subir a las torres de producto cuando sea necesario.

1.3. Departamento de Mantenimiento

Este Departamento es el encargado de planificar y ejecutar el mantenimiento preventivo a la maquinaria de la planta, conservándola en óptimas condiciones de funcionamiento y evitando paros inesperados que puedan afectar a los programas de producción. Además, es el encargado de ejecutar el mantenimiento correctivo a los equipos cuando se presentan fallas o averías inesperadas y de desarrollar y ejecutar proyectos que mejoren el funcionamiento de los equipos y procesos.

1.3.1. Talleres de mantenimiento

En la Empresa de Tubos existen cuatro talleres: mecánico, de tornos, de herrería y eléctrico, los trabajan en conjunto para cumplir con el programa de mantenimiento.

1.3.1.1. Mecánico

Este taller es el encargado de ejecutar el mantenimiento mecánico a los equipos y de realizar aquellos proyectos que ayuden a mejorar su operación y funcionamiento.

1.3.1.2. Tornos

Es el encargado de la rectificación y elaboración de elementos mecánicos como rodos de formación, ejes, engranajes, cuchillas, partes de la maquinaria, piezas especiales para la ejecución de los proyectos que desarrollará el taller mecánico, entre otros.

1.3.1.3. Eléctrico

Es el encargado de ejecutar el mantenimiento eléctrico de los equipos, reparaciones a las instalaciones y ejecución de proyectos que ayuden a mejorar el funcionamiento de la planta.

1.3.1.4. Herrería

Es el encargado de realizar o modificar las estructuras metálicas existentes en la planta, construcción de carretas para el transporte del producto

al área de estibado o a las bodegas de producto terminado, así como el mantenimiento en el área de galvanizado de los gusanos que sumergen los tubos dentro del horno, del puente que sujeta los gusanos sobre el horno de galvanizado, de la paila del horno y de los depósitos de químicos utilizados para los procesos de limpieza y preparación superficial de los tubos.

1.4. Productos

La Empresa de Tubos se dedica a la fabricación de productos derivados del acero como cañería, costaneras, perfiles y tubería, los cuales son distribuidos y comercializados a nivel nacional.

Figura 3. Productos



Fuente: Bodega núm. 7, Empresa de tubos.

1.4.1. Cañería

La Empresa de Tubos actualmente fabrica tres tipos de cañería: ligera, mediana y pesada en dos diferentes clases: negra y galvanizada, las cuales utilizan como materia prima lámina rolada en caliente.

La cañería negra es utilizada en estructuras metálicas, sistemas oleohidráulicos y en sistemas de conducción de vapor; mientras que la cañería

galvanizada es utilizada para la conducción de fluidos como agua y aire a bajas presiones.

Los tipos de cañerías se diferencian en cuanto a su espesor y son producidos con sus extremos lisos y con rosca (NPT).

Figura 4. **Cañería**



Fuente: Bodega núm. 7, Empresa de Tubos.

1.4.2. Costaneras

La costanera, también llamada perfil en C o canaleta, se fabrica en cuatro espesores: 1, 1,2, 1,4 y 1,5 mm, de 6 metros de longitud.

Estas son utilizadas para construcciones metálicas livianas, elaboración de marcos para almacenes, casetas, cobertizos, aulas, pasarelas, como soportes para cubiertas y en fachadas de edificios prefabricados, naves industriales, canchas deportivas, bodegas, etcétera.

Figura 5. **Costaneras**



Fuente: Bodega núm.7, Empresa de Tubos.

1.4.3. Perfiles

Son fabricados de 6 metros de longitud, exceptuando el perfil redondo que es fabricado de 9 metros. Los cuatro tipos de perfiles que se fabrican son:

- Perfil angular
- Perfil cuadrado
- Perfil redondo
- Perfil plano

Estos perfiles son utilizados para la fabricación de muebles metálicos, estanterías, carretillas, vallas, andamios, rótulos, balcones, ventanas, puertas, entre otros.

Actualmente, este tipo de perfiles ya no se produce en la Empresa de Tubos, pues se ha trasladado su producción a la planta de Sidegua.

Figura 6. **Perfiles**



Fuente: Aceros de Guatemala. www.acerosdeguatemala.com. Consulta: octubre 2014.

1.4.4. Tubería

Los diferentes tipos de tuberías producidos por la Empresa de Tubos son:

- Tubería eléctrica
 - Tubo ducto: utilizado en el área eléctrica para la conducción de cables. Se fabrica en chapa 20 (0,9 mm) y 3 metros de longitud, recubierto con una pintura interior y exterior asfáltica aislante.

- Tubería estructural
 - Tubo bananero galvanizado: utilizado para armar los transportadores de las fincas bananeras. Se fabrica con lámina

rolada en caliente de 6,70 y 6,10 metros, diámetro de 1¼” y un espesor de pared de 2,9 mm. Estos tubos tienen un recubrimiento de zinc que los protege del ambiente externo.

- Tubería para cerca galvanizada: utilizada para la construcción de muros perimetrales. Se produce de 6 metros de longitud, con un diámetro de 1½” y 1¼”, 1,5 mm de espesor y un recubrimiento de zinc sin rosca en sus extremos.
- Tubería cuadrada estructural: fabricada con lámina rolada, en caliente de 6 metros. Se utiliza en el área de estructuras metálicas para la construcción de marcos para puertas, escaleras, muebles metálicos, entre otros.
- Tubería de escape negro: utilizada para la fabricación de los escapes de los vehículos. Está tubería producida con lámina rolada en caliente de 6 metros de longitud, en diámetros de 2½” y 3” pulgadas, de 1,5 mm de espesor y sin rosca en sus extremos.
- Tubería mecánica: utilizada para la fabricación de estructuras. Está es fabricada con lámina rolada en caliente de 6 metros de longitud, con 1,5 y 2 mm de espesor y con un recubrimiento de zinc.
- Tubería industrial: fabricada con lámina rolada en frío, se produce en tres tipos: cuadrada, rectangular, redonda, en chapas o calibres 18, 20, 21, 22 de una longitud de 6 metros.

Figura 7. **Tubería**



Fuente: bodega núm. 7, Empresa de Tubos.

1.5. Optimización

A continuación se presenta la definición de optimización.

1.5.1. Definición

Consiste en el análisis y la aplicación de una serie de cambios y mejoras que permitan utilizar de forma más eficiente los recursos, reduciendo su consumo y costo, permitiendo que un trabajo se realice de forma más rápida y adecuada, logrando incrementos en la productividad de los procesos y alcanzando los resultados deseados.

La optimización es un concepto muy utilizado por las empresas en la actualidad, ya que buscan continuamente la mejora de sus distintos procesos para ser más eficientes, productivos y competitivos con respecto a sus competidores. Algunos ejemplos de los beneficios de la optimización son:

- Incremento en la producción

- Reducción de costos de la materia prima
- Reducción de desperdicios
- Reducción de tiempos de producción
- Mejoras en los plazos de entrega de un producto
- Reducción en los costos y precios de un producto
- Incremento en los beneficios

1.6. Calderas

Son recipientes cerrados empleados para calentar agua o generar vapor, mediante el aprovechamiento de la energía térmica que poseen los gases producto de la combustión y que transfieren al agua.

Estos equipos son utilizados cuando se desea obtener agua caliente o vapor a altas presiones y temperaturas en un menor tiempo.

1.6.1. Tipos

Existen muchas formas de clasificar a las calderas según la posición de los tubos, el número de pasos, circulación del fluido, forma en que se transfiere el calor, el combustible empleado, la presión de trabajo, entre otros.

Sin embargo, se analizará su clasificación con base en la disposición de los fluidos, pues es la más importante y bajo la cual son diseñadas.

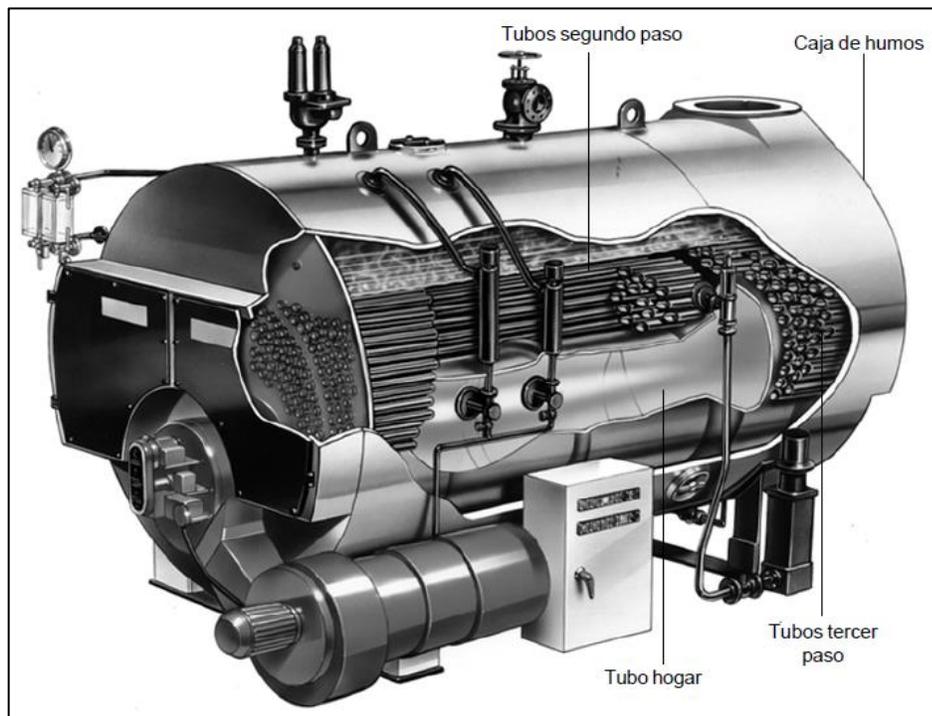
1.6.1.1. Pirotubulares

Son aquellos equipos en los que los humos procedentes del quemador y generados por la combustión son conducidos por múltiples tubos colocados por encima del hogar de la caldera hasta la chimenea de salida.

Durante su paso, los gases transfieren parte del calor que poseen al agua que rodea los tubos y que es contenida en el cuerpo de la caldera, generando de esta forma el vapor. Este tipo de calderas puede generar presiones de hasta 21 kg/cm².

Las calderas pirotubulares son clasificadas en función del número de pasos de humo, es decir, el número de recorridos que realizan los gases de combustión del quemador a la parte posterior del hogar y viceversa. La disposición de un mayor número de pasos se da con el fin de aprovechar y ceder la mayor cantidad de calor posible de los gases de combustión al agua.

Figura 8. **Caldera pirotubular**



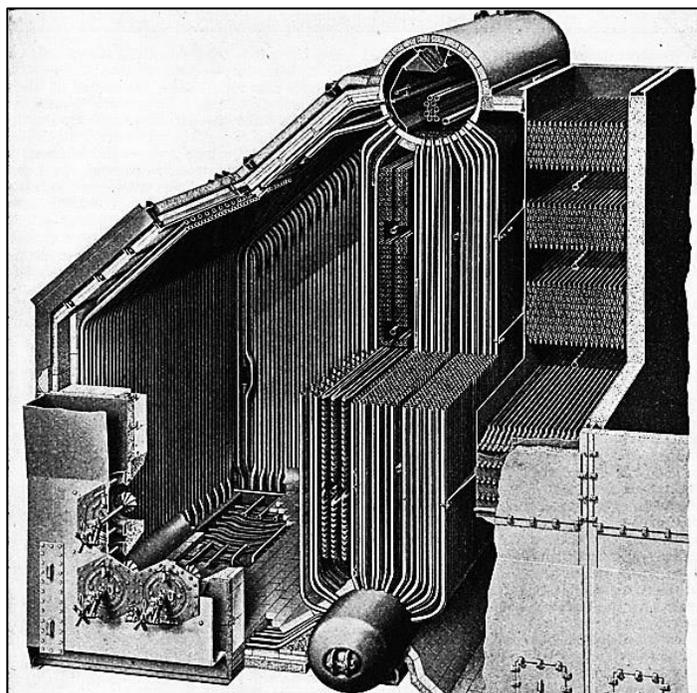
Fuente: Spirax Sarco S. A. www2.spiraxsarco.com/ar/pdfs/training/gcm_04.pdf. Consulta: octubre de 2014.

1.6.1.2. Acuotubulares

Son equipos en los que el agua circula en el interior de los tubos que atraviesan longitudinalmente la caldera, mientras que los gases provenientes del quemador y generados por la combustión fluyen por la parte externa, transfiriendo parte de su calor a los tubos y generando de esta forma el vapor.

Este tipo de calderas generan altas presiones, debido a que el diámetro de sus domos es pequeño, pudiendo generar presiones altas del orden de los 200 kg/cm².

Figura 9. Caldera acuotubular



Fuente: Atmosferis. *Circulación natural en calderas acuotubulares.*
www.atmosferis.com/circulacion-natural-en-calderas-acuotubulares. Consulta: octubre de 2014.

2. DIAGNÓSTICO SITUACIONAL

2.1. Área de galvanizado

Está conformada por cuatro áreas que ejecutan una serie de actividades que integran el proceso de galvanizado de tubería y cañería, las cuales son:

- Área de la escareadora
- Área de los tanques de químicos
- Área del horno de galvanizado
- Área de calderas

Este trabajo de graduación hará énfasis únicamente en el área de calderas, las áreas restantes serán mencionadas como parte del proceso de galvanizado.

2.1.1. Área de calderas

Está ubicada a un costado del área del horno de galvanizado, desarrolla los procesos de tratamiento de agua y producción del vapor que será utilizado en algunos procesos del área de galvanizado.

2.1.1.1. Tratamiento de agua

La finalidad del tratamiento de agua es reducir la cantidad de sólidos disueltos, sólidos en suspensión (minerales) y eliminar la dureza (concentración de sales de magnesio y calcio). Estas son impurezas relativamente insolubles

que tienden a precipitarse durante el proceso de ebullición del agua en el interior de la caldera, al ser menos solubles a altas temperaturas, formando incrustaciones en el interior o exterior de los tubos internos de la caldera.

Las incrustaciones ocurren principalmente en las superficies de mayor calentamiento, con lo cual se aísla y reduce la transferencia de calor de los gases de combustión al agua, se generan problemas de refrigeración, daños por el sobrecalentamiento de las superficies, se incurre en un mayor consumo de combustible y en un mayor costo de mantenimiento.

Figura 10. **Incrustaciones**



Fuente: Maquimex. *Cuidado con las incrustaciones*. maquimex.com/blog/cuidado-con-las-incrustaciones. Consulta: noviembre de 2014.

En la Empresa de Tubos actualmente se mide la dureza, total de sólidos disueltos (TDS) y pH que posee el agua tratada por los suavizadores Culligan. Estas mediciones se realizan dos veces al día, una en la mañana y otra en la noche, para verificar que el agua tratada por los suavizadores posee cero dureza (0 ppm), una cantidad menor de 2 500 ppm de TDS y un pH neutro (7).

El procedimiento para determinar la dureza y TSD que posee el agua es el siguiente:

- Limpiar los instrumentos y el recipiente que se utilizarán.
- Medir y llenar de 25 ml una probeta plástica.
- Repetir los primeros dos pasos.
- Agregar 5 gotas de buffer de dureza total (R-0619).
- Agregar una cucharada de polvo indicador de dureza (R-0620)
 - Si el color es azul, la dureza que posee el agua es igual a cero
 - Si el color es rozado oscuro o rojizo
 - Aplicar gota a gota el titulante de dureza (R-0683), hasta que se llegue a un color azul.
 - El total de gotas de titulante de dureza necesarias para hacer que la muestra de agua llegue a un color azul se multiplica por 10 y se obtiene la cantidad de dureza total en partes por millón.
- Tomar una parte de la muestra y colocarla en el medidor de sólidos.
- Medir la cantidad de sólidos disueltos en el agua, la cantidad máxima de sólidos permitida es de 2 500 ppm.

Figura 11. **Químicos y medidor de sólidos**



Fuente: taller mecánico, Empresa de Tubos.

El procedimiento para determinar el pH del agua es el siguiente:

- Limpiar el recipiente a utilizar con agua de la muestra.
- Agregar 25 ml de agua de la muestra.
- Introducir el papel indicador de pH universal en la muestra.
- Comparar el color del papel indicador de pH universal con el estándar, para determinar el pH del agua.

Figura 12. **Indicador de pH universal**



Fuente: taller mecánico, Empresa de Tubos.

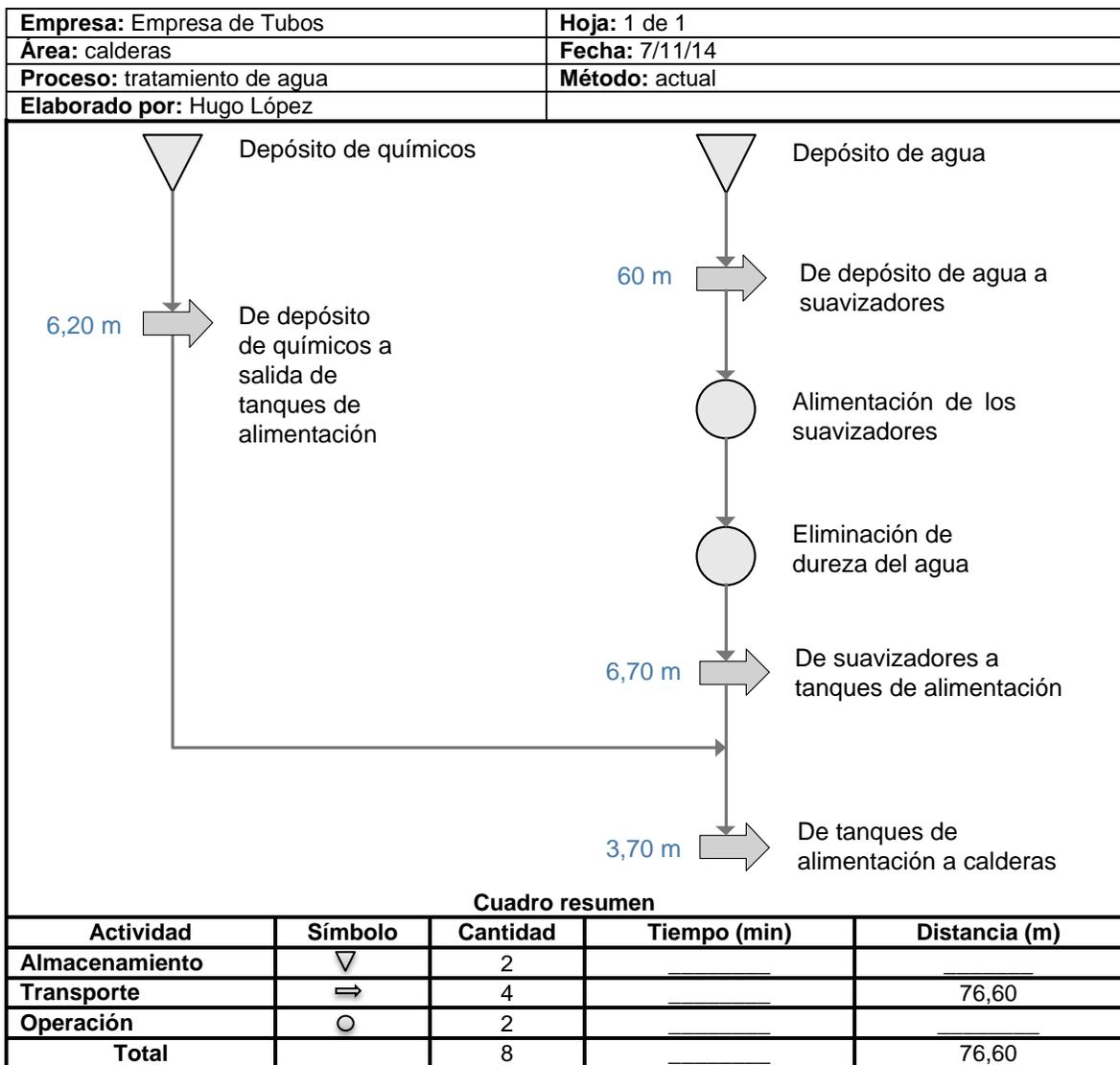
El pH indica el grado de acidez o alcalinidad de un líquido. El pH del agua que alimenta a las calderas debe estar entre 7 y 10, pues el agua con un mayor o menor valor podría causar serios daños de corrosión en el interior de la caldera.

El tratamiento de agua también incluye la adición de una serie de químicos para prevenir la precipitación del carbonato de calcio y magnesio en las tuberías, reducir el crecimiento de algas y hongos en el agua y proteger a las superficies metálicas de la corrosión.

2.1.1.1.1. Diagrama de proceso

A continuación se presenta el diagrama de proceso de tratamiento de agua.

Figura 13. Diagrama de flujo de operaciones de tratamiento de agua



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2010.

2.1.1.1.2. Equipos

Los equipos utilizados en el proceso de tratamiento de agua son: una bomba dosificadora de químicos, dos suavizadores de agua, dos tanques de almacenamiento y dos bombas de agua.

- Suavizadores de agua

Son equipos empleados para eliminar los sólidos en suspensión, reducir los sólidos disueltos y eliminar la dureza que posee el agua, con el fin de proteger las calderas.

Actualmente, en la Empresa de tubos se utilizan dos suavizadores marca Culligan, uno de los cuales se encuentra en funcionamiento, proporcionando agua a las calderas, mientras que el otro se encuentra en su etapa de regeneración.

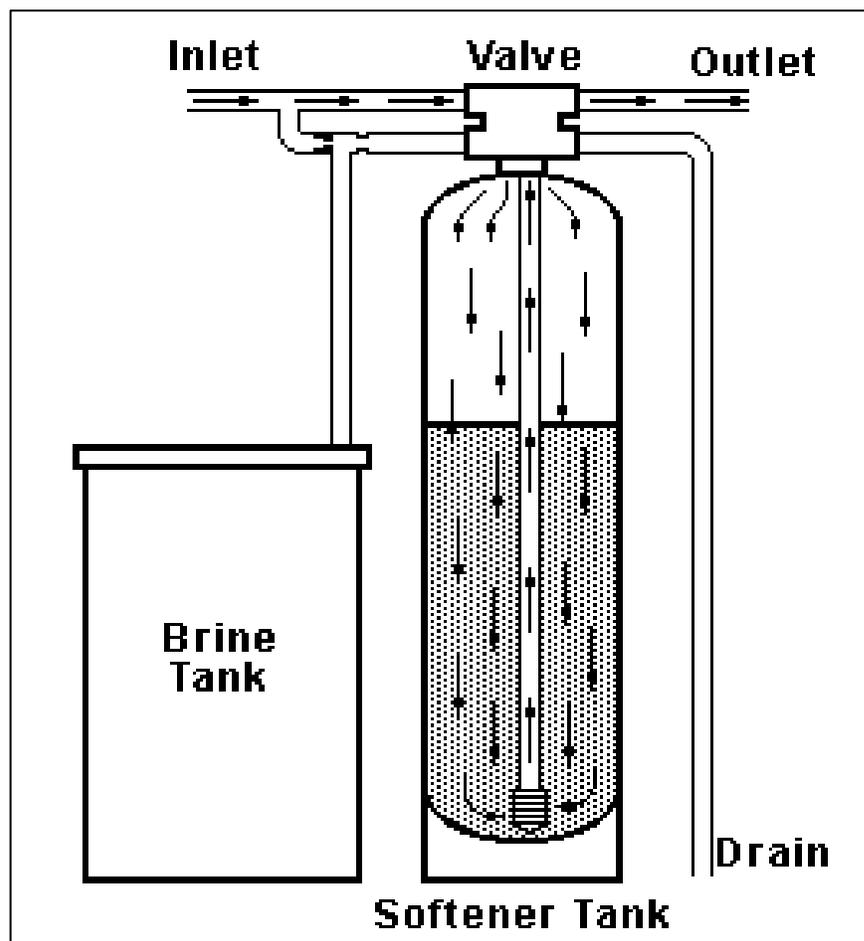
Figura 14. Suavizadores Culligan



Fuente: área de calderas, Empresa de Tubos.

La etapa de trabajo de los suavizadores inicia cuando el agua ingresa por un tubo lateral, filtrándose por una capa de bolillas de resina que absorben la dureza y reducen la cantidad de sólidos disueltos. Luego, el agua se filtra por una capa de grava que elimina los sólidos en suspensión y por último es enviada a los tanques para su almacenamiento. El tiempo que dura la etapa de trabajo varía en función del nivel de los tanques de almacenamiento de agua.

Figura 15. **Etapa de servicio**

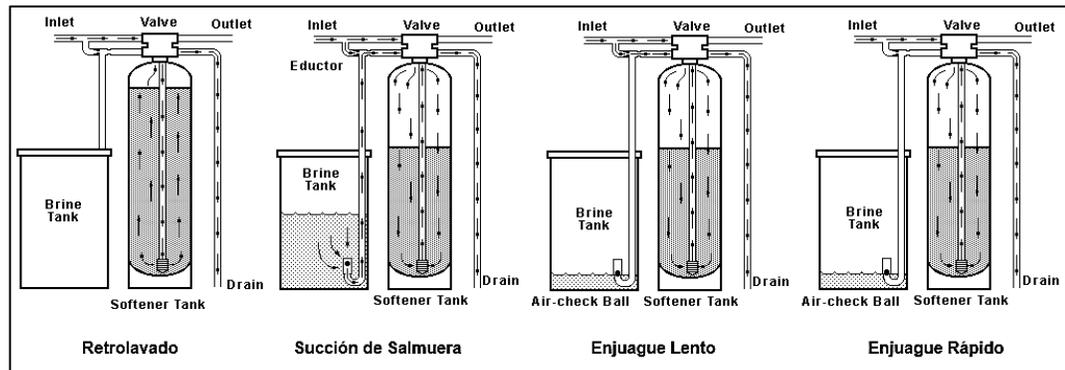


Fuente: Softeners. *How water softeners work*. www.water-softeners-filters.com/how-water-softeners-work. Consulta: noviembre de 2014.

Con el paso del tiempo, las bolillas de resina comienzan a saturarse de dureza y sólidos disueltos, reduciendo su capacidad de absorción. Un sensor (Aguasensor) detecta este momento y envía una señal a la tarjeta electrónica de los suavizadores para iniciar el proceso de regeneración. El proceso de regeneración posee cuatro etapas las cuales son:

- Retrolavado: durante esta etapa fluye agua dura en dirección inversa a la de servicio a través de la capa de resina, expandiéndola y enjuagando la suciedad acumulada, sedimentos y otras fuentes de turbidez que contengan las bolillas o se encuentren en esta parte del suavizador.
- Succión de salmuera: durante esta etapa se succiona salmuera de un depósito localizado entre los dos suavizadores, fluyendo lentamente a través del lecho de resina, eliminando de esta forma las sales de calcio y magnesio acumuladas por las bolillas.
- Enjuague lento: durante esta etapa ingresa al suavizador un flujo lento de agua cruda, la cual retira lentamente la mayor parte de la salmuera que se encuentra en el interior del suavizador.
- Enjuague rápido: durante esta etapa ingresa al suavizador un flujo rápido de agua cruda, la cual se encarga de eliminar los últimos residuos de salmuera, instalando posteriormente la cama de bolillas de resina en su lugar y dejando al equipo listo para trabajar.

Figura 16. Ciclo de regeneración



Fuente: Softeners. *How water softeners work*. www.water-softeners-filters.com/how-water-softeners-work. Consulta: noviembre de 2014.

La duración de las etapas del proceso de regeneración es programada en la tarjeta electrónica que controla a los suavizadores. Actualmente, las etapas de retrolavado, enjuague lento y enjuague rápido tienen una duración de 15, 65 y 20 minutos respectivamente. La programación y el mantenimiento de los suavizadores son realizados por una empresa externa.

- Tanques de almacenamiento de agua

Son utilizados para almacenar el agua que ha sido tratada previamente por los suavizadores Culligan y para suministrarla a las calderas en la medida que estos equipos lo requieran para su funcionamiento.

Actualmente en la empresa existen dos tanques de almacenamiento, el tanque núm. 1 que es utilizado para alimentar a la caldera Kewanee y el tanque núm. 2 que es utilizado para alimentar a la caldera Power. La tubería de estos

tanques posee un *bypass* para que uno de los tanques suministre agua al otro, en caso de que alguno de ellos posea un nivel bajo de agua.

Figura 17. **Tanques de almacenamiento de agua**



Fuente: área de calderas, Empresa de Tubos.

Ambos tanques tienen forma cilíndrica y han sido fabricados en el taller de herrería, sus dimensiones y capacidad de almacenamiento de agua son los siguientes.

Tabla II. **Tanques de alimentación**

Características	Tanque núm. 1	Tanque núm. 2
Longitud (metros)	1,85	0,91
Diámetro (metros)	0,75	0,61
Volumen (litros)	817,30	265,94

Fuente: elaboración propia.

- Bomba dosificadora de químicos

Es la encargada de suministrar por goteo los químicos SQI 700, 1770 y 1450 al agua que alimenta a las calderas. Esta bomba es de tipo diafragma y suministra aproximadamente 1 galón/día de químicos a una presión de 10 PSI.

La presión y el caudal generados por este equipo se pueden variar mediante un potenciómetro que posee la bomba en su parte trasera y que regula la frecuencia de giro del motor que la acciona. Actualmente este potenciómetro está regulado a un 60 %, por lo que genera la presión y caudal de trabajo mencionados con anterioridad.

Figura 18. **Bomba dosificadora de químicos**



Fuente: área de calderas, Empresa de Tubos.

Tabla III. **Especificaciones de la bomba dosificadora de químicos**

Caudal máximo	15 galones por día
Caudal máximo	5 litros por día
Presión máxima	150 PSI

Fuente: elaboración propia.

- Bombas de alimentación de agua

Son empleadas para suministrar el agua contenida en los tanques de almacenamiento a las calderas.

Las bombas de agua utilizadas en la empresa son marca Hidromac modelo Turbi 125-9/2, debido a su capacidad para grandes presiones, altas cargas y bajos caudales, pues es necesario que las bombas empleadas puedan vencer la presión que existe en el interior de las calderas por la mezcla de agua y vapor que estas contienen durante su operación.

Figura 19. **Bomba de alimentación de agua**



Fuente: área de calderas, Empresa de Tubos.

Las especificaciones técnicas y de operación de las bombas se detallan en la siguiente tabla.

Tabla IV. **Bombas de alimentación de agua**

Marca	Hidromac
Modelo	Turbi 125-9/2
Caudal	3,50 m ³ /h
Etapas	2
Carga máxima	200 m
Revoluciones por minuto	1 750 rpm
Presión de operación	120 PSI
Temperatura de operación	30,7 °C

Fuente: elaboración propia.

2.1.1.1.3. Insumos

Los insumos empleados en el proceso de tratamiento de agua son una serie de químicos y agua.

- Agua

Es el principal insumo y se utiliza para alimentar a los suavizadores Culligan y posteriormente a las calderas para la producción de vapor.

- Consumo actual de agua

El consumo para el proceso de producción de vapor es aproximadamente de 10 708,58 galones/día y 1 497 572,27 galones/año, estos valores son estimados con base en el consumo de bunker por parte de las calderas y al peso estándar de un galón de agua.

$$\text{BHP}_{\text{reales}} = \frac{\text{Consumo de combustible (gal/h)}}{0,275} = \frac{11,36}{0,275} = 41,32$$

$$\frac{\text{Lb}_{\text{agua}}}{\text{h}} = \text{BHP}_{\text{reales}} * 34,5 \text{ Lb} = (41,32) * (34,5) = 1\,425,77$$

$$1\,425,77 \frac{\text{Lb}_{\text{agua}}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ gal}}{8,34 \text{ Lb}_{\text{agua}}} * \frac{24 \text{ h}}{\text{día}} = 4\,102,94 \frac{\text{gal}}{\text{día}}$$

$$4\,102,94 \frac{\text{gal}}{\text{día}} * \frac{365 \text{ días}}{\text{año}} = 1\,497\,572,27 \frac{\text{gal}}{\text{año}}$$

- Temperatura del agua

La temperatura del agua en los tanques de almacenamiento es de 30,7 °C aproximadamente.

- Químicos

Para el tratamiento del agua se utilizan los químicos SQI 1700, SQI 1450 y SQI 700.

El SQI 1700 es un químico que previene la formación de carbonato de calcio y magnesio, a través de la formación de cristales irregulares que no se adhieren a las superficies metálicas, ya que fluidiza y acondiciona los lodos en la caldera de tal manera que puedan ser fácilmente expulsados a través de la purga diaria del equipo.

El SQI-1450 es un químico empleado para proteger a las tuberías de vapor y retorno de condensado contra la acción corrosiva del ácido carbónico generado durante la condensación del vapor.

El SQI-700 es un químico utilizado para inhibir la corrosión y reducir la dureza que posee el agua suave utilizada en las calderas.

Estos químicos son mezclados y almacenados en un tanque ubicado a un costado de los suavizadores, de donde son enviados y posteriormente añadidos por medio de la bomba de químicos al agua en las líneas que alimentan a las calderas.

- Consumo actual de químicos

Para el tratamiento de agua se consumen: 8 galones de SQI 700, 8 galones de SQI 1450 y 8 galones de SQI 1700 por mes, lo que hace un total de 24 galones de químicos por mes.

Este dato fue proporcionado por uno de los trabajadores del taller mecánico, este taller es el encargado de monitorear diariamente el nivel de los químicos en el depósito y de llevar un registro de la cantidad añadida.

- Costo actual de los químicos

Para el tratamiento de agua, el costo es de Q 28 321,92 al año. Este fue determinado con base en el costo y consumo individual de cada uno de los químicos.

Tabla V. **Costo de los químicos**

Químico	Costo por galón	Consumo mensual	Costo mensual	Costo anual
SQI - 700	Q 97,18	8 galones	Q 777,44	Q 9 329,28
SQI - 1450	Q 99,95	8 galones	Q 799,60	Q 9 595,20
SQI - 1700	Q 97,89	8 galones	Q 783,12	Q 9 397,44
Total		24 galones	Q 2 360,16	Q 28 321,92

Fuente: elaboración propia,

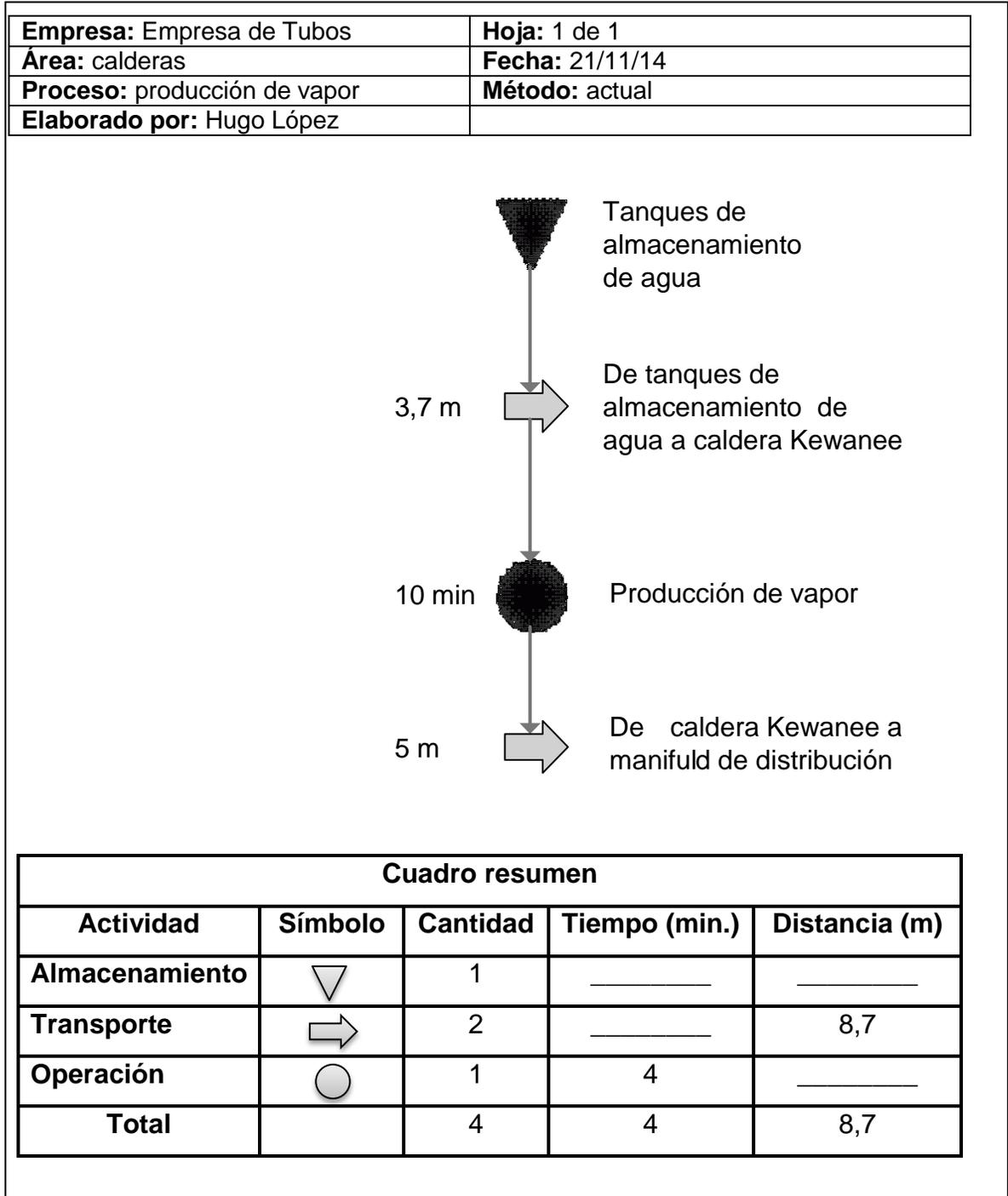
2.1.1.2. Producción de vapor

El vapor se produce en las calderas de la empresa para suministrar vapor de agua a los tanques de químicos para los procesos de desengrase y decapado, a los tanques de bunker para evitar la solidificación del combustible y al horno de galvanizado para soplar los tubos, secándolos y eliminando el excedente de zinc con el que salen luego del proceso de galvanizado.

2.1.1.2.1. Diagrama de proceso

A continuación se presenta el diagrama de flujo de operaciones.

Figura 20. Diagrama de flujo de operaciones de producción de vapor



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2010.

2.1.1.2.2. Equipos

El equipo utilizado para la producción de vapor es la caldera Kewanee. Existe otro equipo pero, debido a que no es capaz de suministrar las cantidades de vapor requeridas y de trabajar durante largos periodos (mayores de una hora), únicamente se analizará a la caldera Kewanee.

- Caldera Kewanee

Es el equipo encargado de generar y suministrar vapor de agua a la planta de producción de la Empresa de Tubos.

Figura 21. **Caldera Kewanee**



Fuente: área de calderas, Empresa de Tubos.

- Características

Es una caldera pirotubular de tres pasos, diseñada para trabajar bajo una presión y temperatura máxima de 150 PSI y 600 °F, es capaz de generar una potencia de 150 HP y posee una superficie de calentamiento de 750 ft².

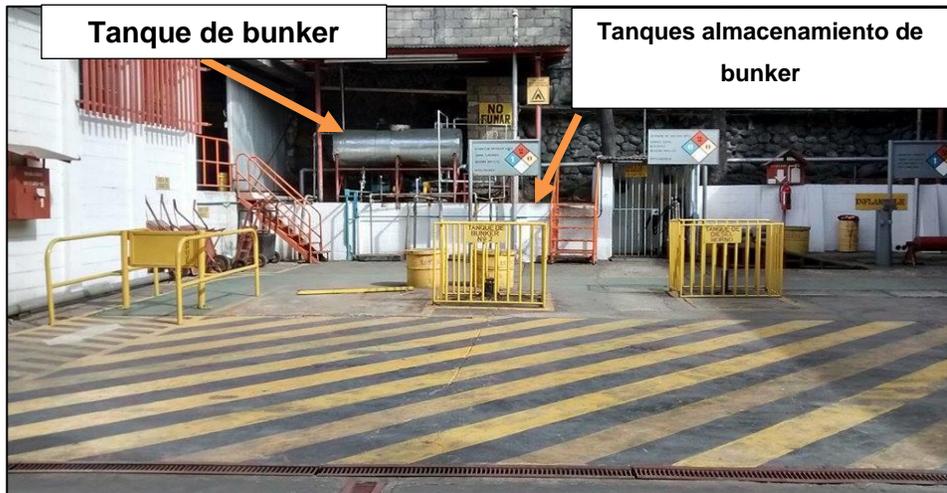
La caldera es alimentada con gas propano, bunker y aire durante la etapa de encendido y durante su operación de bunker y aire. El aire es suministrado a una presión de 22 PSI por medio de un compresor ubicado a un costado del equipo, el bunker es suministrado a una presión y temperatura de 40 PSI y 170 °F por una de las bombas de los tanques de bunker y el gas propano es suministrado a una presión de 15 PSI por un cilindro ubicado a un costado del área de calderas.

El ciclo de operación de la caldera Kewanee tiene una duración de diez minutos a una presión de 125 PSI, el número de ciclos de trabajo realizados al día por la caldera varía en función del requerimiento de vapor por parte de los equipos.

- Análisis del circuito de combustible

El circuito de combustible inicia en los tanques de almacenamiento subterráneos donde el bunker es almacenado y calentado por medio de vapor. De estos tanques es enviado por una bomba al tanque de bunker diario donde es contenido y posteriormente, suministrado por una bomba al horno de galvanizado y por otra bomba a la caldera que se encuentra en operación.

Figura 22. Área de tanques de bunker



Fuente: área de tanques de bunker, Empresa de Tubos.

- **Combustibles**

El combustible utilizado para el arranque y operación de las calderas en la Empresa de Tubos es el bunker núm.6. Este es un combustible residual obtenido de la destilación, refinación de hidrocarburos y mezcla de aceites residuales pesados con un aceite más ligero. Las características del bunker núm. 6 son las siguientes.

Tabla VI. **Características del bunker núm. 6**

Punto de inflamación	145 °F
Punto de fluidez	3 °C
Poder calorífico	10 164 Kcal/kg
Densidad a 15 °C	0,9896 kg/l
Viscosidad cinemática a 50 °C	589,3 centistokes
Gravedad específica a 60/60 °C	0,9902

Fuente: elaboración propia.

- Consumo actual de combustible

El consumo anual de bunker número seis es de 99 556 galones, este dato fue obtenido de los registros que llevan los trabajadores de la bodega de repuestos, ya que ellos son los encargados de medir el nivel y determinar el consumo diario de bunker en los tanques subterráneos.

En la siguiente tabla se aprecia el consumo del bunker número seis durante el último año de producción.

Tabla VII. **Consumo de bunker**

Año 2013	
Octubre	8 249
Noviembre	8 126
Diciembre	7 566
Año 2014	
Enero	7 889
Febrero	7 177
Marzo	10 054
Mayo	8 686
Junio	9 396
Julio	8 589
Septiembre	7 561
Octubre	8 109
Noviembre	8 154
Total	99 556

Fuente: elaboración propia, con base en registros de consumo de bunker.

Los meses de abril y agosto del año 2014 fueron obviados, debido a que en estos meses se realizó mantenimiento al horno de galvanizado, por lo cual no hubo producción de tubería o cañería galvanizada y, por ende, consumo de bunker.

- Costo actual de combustible

El costo anual del bunker número seis utilizado por las calderas es de Q 1 869 661,68, el cual fue determinado por medio de los registros del consumo de bunker y precio al que es adquirido el galón. En la siguiente tabla se aprecian con mayor detalle los costos en los que se ha incurrido por mes y año.

Tabla VIII. **Costo de bunker**

Consumo de bunker núm. 6 (galones)		Costo por galón	Costo mensual
Año 2013			
Octubre	8 249	Q 18,78	Q 154 916,22
Noviembre	8 126	Q 18,78	Q 152 606,28
Diciembre	7 566	Q 18,78	Q 142 089,48
Año 2014			
Enero	7 889	Q 18,78	Q 148 155,42
Febrero	7 177	Q 18,78	Q 134 784,06
Marzo	10 054	Q 18,78	Q 188 814,12
Mayo	8 686	Q 18,78	Q 163 123,08
Junio	9 396	Q 18,78	Q 176 456,88
Julio	8 589	Q 18,78	Q 161 301,42
Septiembre	7 561	Q 18,78	Q 141 995,58
Octubre	8 109	Q 18,78	Q 152 287,02
Noviembre	8 154	Q 18,78	Q 153 132,12
Total	99 556	Q 18,78	Q 1 869 661,68

Fuente: elaboración propia, con base en los registros de consumo y el precio de compra del bunker núm. 6.

- Análisis del circuito de condensado

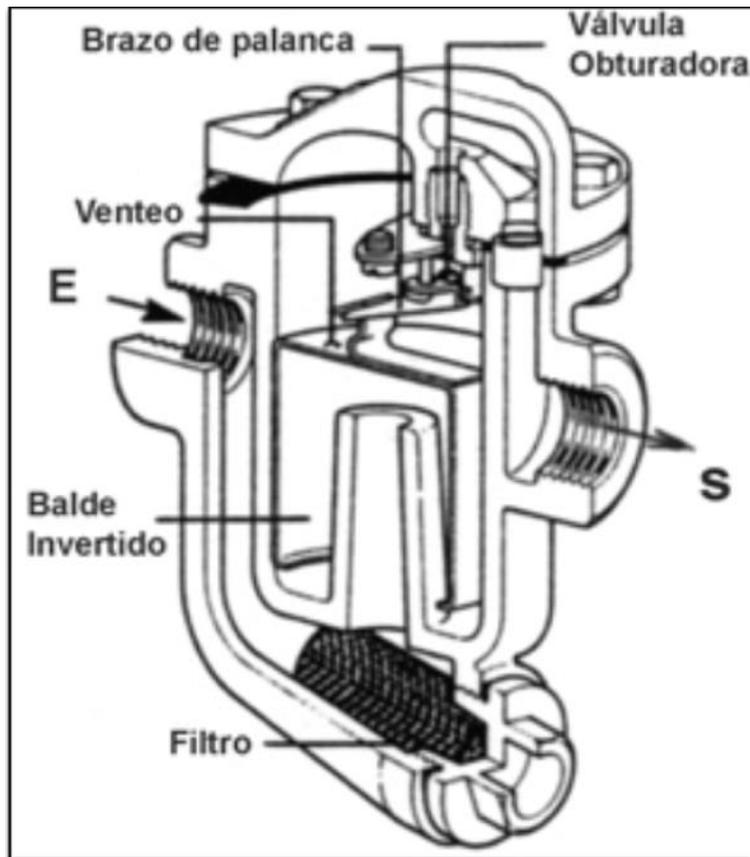
Actualmente la empresa no cuenta con un circuito de condensado, por ello este análisis consistirá en determinar el número de trampas de vapor en el sistema, temperatura, caudal, volumen, masa y flujo másico de condensado, así como el calor que se pierde al desecharlo por el drenaje.

- Trampas de vapor

Son equipos empleados en el sistema de vapor para eliminar el condensado, aire y gases no condensables, sin que exista pérdida de vapor. Actualmente el sistema tiene diez trampas, de las cuales nueve son mecánicas de cubeta invertida y una es termodinámica de disco. Estos equipos son marca Spirax Sarco y soportan presiones de hasta 125 PSIG.

Las trampas mecánicas de cubeta invertida poseen un balde invertido en su interior, el cual flota cuando ingresa el vapor, manteniendo cerrada la válvula de descarga. Cuando el vapor comienza a condensarse, este condensado empieza a sumergir el balde hasta que lo hace por completo, abriendo en ese momento la válvula de descarga que, gracias a la presión ejercida por el vapor dentro del balde, elimina el exceso de condensado en la trampa al exterior.

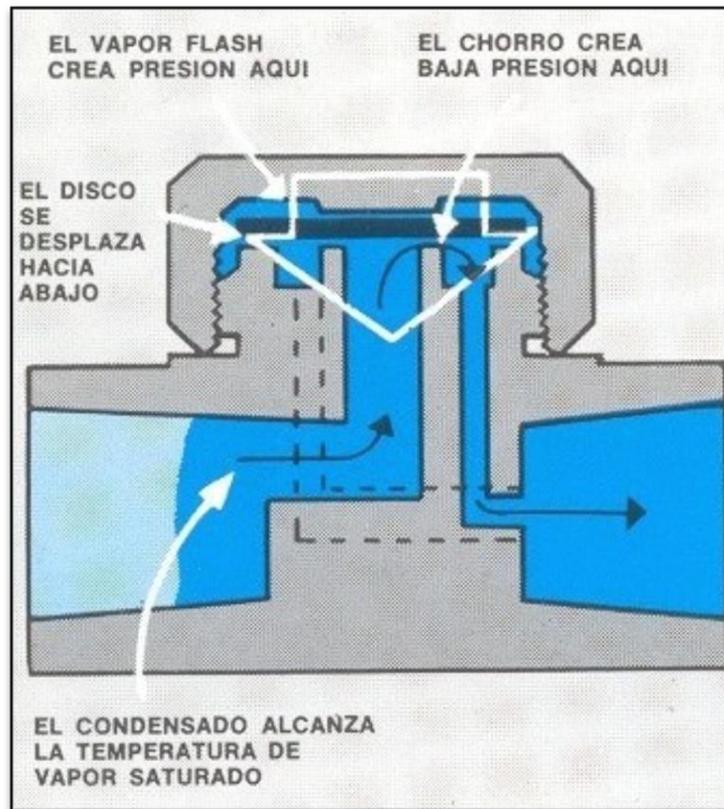
Figura 23. Trampa de vapor de balde invertido



Fuente: *Trampas de vapor*. www.vaportec.com.ar/trampas.html. Consulta: noviembre de 2014.

Las trampas termodinámicas de disco poseen un disco interno, el cual es levantado de su asiento debido a la presión ejercida por el vapor y condensado acumulado en su parte inferior, permitiendo el paso de este último al exterior del sistema hasta que alcanza la temperatura del vapor, pues, en ese momento, el disco retorna a su asiento y cierra el paso a causa de la reducción de presión bajo el disco durante la descarga del condensado y a la acumulación de presión en su parte superior.

Figura 24. Trampa de vapor termodinámica de disco



Fuente: *Trampas termodinámicas para vapor*. www.elhinel.com.ar/trampas/trampas.html.

Consulta: noviembre de 2014.

- Temperatura del condensado

La temperatura del condensado fue determinada en cada una de las líneas de descarga de las trampas de vapor. Para ello se realizaron dos mediciones por línea con un termómetro bimetálico proporcionado por los trabajadores del laboratorio de control de calidad. En la siguiente tabla aprecian los valores de temperatura obtenidos mediante las mediciones, la temperatura promedio y su desviación estándar.

Tabla IX. **Temperatura del condensado**

Trampa núm.	Temperatura medida		Temperatura media	Desviación estándar
1	92,9 °C	93,4 °C	93,15 °C	0,35 °C
2	93,3 °C	91,3 °C	92,3 °C	1,41 °C
3	92,1 °C	93,1 °C	92,6 °C	0,71 °C
4	94,3 °C	94 °C	94,15 °C	0,21 °C
5	90,1 °C	89,9 °C	90 °C	0,14 °C
6	94,4 °C	94,1 °C	94,25 °C	0,21 °C
7	94,4 °C	94,3 °C	94,35 °C	0,07 °C
8	81,4 °C	81,6 °C	81,5 °C	0,14 °C
9	92,7 °C	93,5 °C	93,1 °C	0,57 °C
10	36,4 °C	38,9 °C	37,65 °C	1,77 °C

Fuente: elaboración propia.

- **Flujo de condensado**

El flujo volumétrico de condensado fue el primero que se determinó, para ello se utilizó un recipiente vacío de un galón y un cronómetro, con los cuales se realizaron once aforos en cada una de las trampas del vapor de sistema. Luego, con estos datos se determinaron los tiempos promedio y flujos volumétricos, los cuales se presentan en la tabla IX.

$$t_{\text{promedio}} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8 + t_9 + t_{10} + t_{11}}{n}$$

$$\text{Flujo volumétrico} = \frac{v}{t_{\text{promedio}}}$$

Donde

t_{promedio} = tiempo promedio, en minutos

n = número de mediciones

v = volumen, en galones

Tabla X. Flujo volumétrico de condensado

Medición	Tiempo (Minutos)									
	Trampa núm. 1	Trampa núm. 2	Trampa núm. 3	Trampa núm. 4	Trampa núm. 5	Trampa núm. 6	Trampa núm. 7	Trampa núm. 8	Trampa núm. 9	Trampa núm. 10
1	8	5,5	7,83	36	25	18,5	66	0,57	112	31,68
2	4,75	6	7	33,25	24,1	16,73	51,15	0,58	49,32	24,42
3	7	5,5	7,75	33,83	24,33	18	60	0,65	120	28,35
4	4,62	6,37	7,12	34,12	23,95	14,17	53,37	0,63	94,52	27,78
5	4,75	5,83	7,9	36	18,4	26	50,48	0,58	115,8	35,52
6	5,63	6,63	6,9	33	22,78	18,1	40	0,55	61,03	47,46
7	3,97	5,63	7,72	36,45	23	24,58	25	0,55	92,11	30,5
8	2,32	5,88	6,85	35,42	23,33	20,25	40,82	0,63	115,2	26,3
9	2,57	5,48	7,67	31,27	21,5	22,5	39,42	0,58	88,36	35,41
10	4,27	6,42	6,48	31,83	23,22	24,12	24,92	0,7	95,42	34,95
11	5,03	5,83	7,3	33,75	23,53	21,2	39,67	0,67	59,48	40
Media	4,81	5,92	7,32	34,08	23,01	20,38	44,62	0,61	91,20	32,94
Desviación	1,67	0,40	0,48	1,73	1,78	3,67	13,07	0,05	24,80	6,70
Volumen (gal/min)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Flujo (gal/min)	0,21	0,17	0,14	0,03	0,04	0,05	0,02	1,64	0,01	0,03

Fuente: elaboración propia.

El flujo volumétrico de la trampa número ocho es mayor que en las demás, debido a que la descarga de la trampa no es automática sino manual por medio de una llave que es accionada por los trabajadores de los tanques de químicos. Esta llave es abierta de cuatro a ocho veces al día, en función de la degradación de los químicos calentados por medio de vapor y que son empleados para los procesos de desengrase y decapado de tubería.

Luego, se realizaron catorce mediciones de masa en la pesa que del laboratorio de control de calidad, con el fin de determinar la masa promedio de un galón de condensado, siendo esta de 7,78 lb.

Tabla XI. **Masa de un galón de condensado**

Medición	Masa (lb)
1	6,78
2	7,394
3	7,016
4	7,842
5	8,134
6	8,158
7	7,966
8	8,575
9	7,824
10	8,122
11	7,974
12	7,638
13	7,646
14	7,812
Media	7,78
Desviación	0,47

Fuente: elaboración propia.

Al multiplicar los flujos volumétricos por la masa que posee un galón de condensado se obtuvieron los flujos máxicos en cada una de las líneas de descarga. A continuación se presenta estos cálculos y en la tabla XI un resumen de los mismos.

$$\dot{m}_{\text{Trampa núm. 1}} = 0,21 \frac{\text{gal}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * 7,78 \frac{\text{Lb}}{\text{gal}} = 97,01 \frac{\text{Lb}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{\text{Trampa núm. 2}} = 0,17 \frac{\text{gal}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * 7,78 \frac{\text{Lb}}{\text{gal}} = 78,88 \frac{\text{Lb}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{\text{Trampa núm. 3}} = 0,14 \frac{\text{gal}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * 7,78 \frac{\text{Lb}}{\text{gal}} = 63,75 \frac{\text{Lb}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{\text{Trampa núm. 4}} = 0,03 \frac{\text{gal}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * 7,78 \frac{\text{Lb}}{\text{gal}} = 13,69 \frac{\text{Lb}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{\text{Trampa núm. 5}} = 0,04 \frac{\text{gal}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * 7,78 \frac{\text{Lb}}{\text{gal}} = 20,28 \frac{\text{Lb}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{\text{Trampa núm. 6}} = 0,05 \frac{\text{gal}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * 7,78 \frac{\text{Lb}}{\text{gal}} = 22,90 \frac{\text{Lb}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{\text{Trampa núm. 7}} = 0,02 \frac{\text{gal}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * 7,78 \frac{\text{Lb}}{\text{gal}} = 10,46 \frac{\text{Lb}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{\text{Trampa núm. 9}} = 0,01 \frac{\text{gal}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * 7,78 \frac{\text{Lb}}{\text{gal}} = 5,12 \frac{\text{Lb}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{\text{Trampa núm. 10}} = 0,03 \frac{\text{gal}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * 7,78 \frac{\text{Lb}}{\text{gal}} = 14,16 \frac{\text{Lb}}{\text{h}}$$

El flujo máxico de la trampa de vapor número ocho fue calculado al determinar por medio de los trabajadores el área de galvanizado que en 10 días la trampa es abierta 40 veces durante 5 minutos, en 15 días es abierta 90 veces durante 12 minutos y en 6 días es abierta 48 veces durante veinte minutos, luego de realizado el cambio de químicos en los tanques de desengrase y decapado. A continuación se presenta el cálculo de este flujo máxico.

$$\frac{\text{Minutos}}{\text{Mes}} = (40 \cdot 5) + (90 \cdot 12) + (48 \cdot 20) = 2\,240$$

$$2\,240 \frac{\text{min}}{\text{mes}} \cdot \frac{1 \text{ mes}}{744 \text{ h}} = 3,01 \frac{\text{min}}{\text{h}} \cdot 1,64 \frac{\text{gal}}{\text{min}} = 4,93 \frac{\text{gal}}{\text{h}} \cdot 7,78 \frac{\text{Lb}}{\text{gal}} = 38,50 \frac{\text{Lb}}{\text{h}}$$

Tabla XII. **Flujo másico de condensado**

Trampa núm.	Flujo másico (lb/h)
1	97,01
2	78,88
3	63,75
4	13,69
5	20,28
6	22,90
7	10,46
8	38,50
9	5,12
10	14,16

Fuente: elaboración propia.

Por último, se determinó el flujo calorífico desechado al tirar el condensado por los drenajes, empleando para ello los flujos másicos, entalpía del agua a la temperatura que ingresa a la caldera y a la que es eliminada del sistema de vapor como condensado, por medio de la siguiente fórmula:

$$\dot{Q} = \dot{m}(h_{\text{condensado}} - h_{\text{agua de alimentación}})$$

Donde:

\dot{Q} = calor perdido, en unidad térmica británica por hora

\dot{m} = flujo másico, en libra por hora

$h_{\text{condensado}}$ = entalpía del condensado, en unidad térmica británica por libra

$h_{\text{agua de alimentación}}$ = entalpía del agua a 30,7 °C, en unidad térmica británica por libra

A continuación se muestran los cálculos del calor perdido en cada una de las líneas de descarga y un resumen de los mismos en la tabla XII.

$$\dot{Q}_{\text{Trampa núm. 1}} = \dot{m}_{\text{Trampa No.1}} (h_{\text{agua a } 93,15^{\circ}\text{C}} - h_{\text{agua a } 30,7^{\circ}\text{C}})$$

$$\dot{Q}_{\text{Trampa núm. 1}} = 97,01(167,80 - 55,32) = 10\,921,31 \text{ Btu/h}$$

$$\dot{Q}_{\text{Trampa núm. 2}} = \dot{m}_{\text{Trampa No.2}} (h_{\text{agua a } 92,3^{\circ}\text{C}} - h_{\text{agua a } 30,7^{\circ}\text{C}})$$

$$\dot{Q}_{\text{Trampa núm. 2}} = 78,88(166,26 - 55,32) = 8\,751,77 \text{ Btu/h}$$

$$\dot{Q}_{\text{Trampa núm. 3}} = \dot{m}_{\text{Trampa No.3}} (h_{\text{agua a } 92,6^{\circ}\text{C}} - h_{\text{agua a } 30,7^{\circ}\text{C}})$$

$$\dot{Q}_{\text{Trampa núm. 3}} = 63,75(166,80 - 55,32) = 7\,107,09 \text{ Btu/h}$$

$$\dot{Q}_{\text{Trampa núm. 4}} = \dot{m}_{\text{Trampa No.4}} (h_{\text{agua a } 94,15^{\circ}\text{C}} - h_{\text{agua a } 30,7^{\circ}\text{C}})$$

$$\dot{Q}_{\text{Trampa núm. 4}} = 13,69(169,61 - 55,32) = 1\,564,79 \text{ Btu/h}$$

$$\dot{Q}_{\text{Trampa núm. 5}} = \dot{m}_{\text{Trampa No.5}} (h_{\text{agua a } 90^{\circ}\text{C}} - h_{\text{agua a } 30,7^{\circ}\text{C}})$$

$$\dot{Q}_{\text{Trampa núm. 5}} = 20,28(162,10 - 55,32) = 2\,165,29 \text{ Btu/h}$$

$$\dot{Q}_{\text{Trampa núm. 6}} = \dot{m}_{\text{Trampa No.6}} (h_{\text{agua a } 94,25^{\circ}\text{C}} - h_{\text{agua a } 30,7^{\circ}\text{C}})$$

$$\dot{Q}_{\text{Trampa núm. 6}} = 22,90(169,79 - 55,32) = 2\,621,46 \text{ Btu/h}$$

$$\dot{Q}_{\text{Trampa núm. 7}} = \dot{m}_{\text{Trampa No.7}}(h_{\text{agua a } 94,35^{\circ}\text{C}} - h_{\text{agua a } 30,7^{\circ}\text{C}})$$

$$\dot{Q}_{\text{Trampa núm. 7}} = 10,46(169,97 - 55,32) = 1\,199,05 \text{ Btu/h}$$

$$\dot{Q}_{\text{Trampa núm. 8}} = \dot{m}_{\text{Trampa No.8}}(h_{\text{agua a } 81,5^{\circ}\text{C}} - h_{\text{agua a } 30,7^{\circ}\text{C}})$$

$$\dot{Q}_{\text{Trampa núm. 8}} = 38,50(146,74 - 55,32) = 3\,519,78 \text{ Btu/h}$$

$$\dot{Q}_{\text{Trampa núm. 9}} = \dot{m}_{\text{Trampa No.9}}(h_{\text{agua a } 93,1^{\circ}\text{C}} - h_{\text{agua a } 30,7^{\circ}\text{C}})$$

$$\dot{Q}_{\text{Trampa núm. 9}} = 5,12(167,71 - 55,32) = 575,04 \text{ Btu/h}$$

$$\dot{Q}_{\text{Trampa núm. 10}} = \dot{m}_{\text{Trampa No.10}}(h_{\text{agua a } 37,65^{\circ}\text{C}} - h_{\text{agua a } 30,7^{\circ}\text{C}})$$

$$\dot{Q}_{\text{Trampa núm. 10}} = 14,16(67,80 - 55,32) = 176,85 \text{ Btu/h}$$

Tabla XIII. **Calor perdido**

Trampa núm.	Temperatura condensado (°C)	Flujo másico (Lb/h)	Entalpía condensado (Btu/Lb)	Entalpía agua (Btu/Lb)	Calor perdido (Btu/h)
1	93,15	97,01	167,80	55,32	10 912,31
2	92,3	78,88	166,26	55,32	8 751,77
3	92,6	63,75	166,80	55,32	7 107,09
4	94,15	13,69	169,61	55,32	1 564,79
5	90	20,28	162,10	55,32	2 165,29
6	94,25	22,90	169,79	55,32	2 621,46
7	94,35	10,46	169,97	55,32	1 199,05
8	81,5	38,50	146,74	55,32	3 519,78
9	93,1	5,12	167,71	55,32	575,04
10	37,65	14,16	67,80	55,32	176,85
Total					38 593,44

Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, existe una pérdida de calor en el sistema de 38 593,44 Btu/h. Con este valor, con los datos del poder calorífico y costo por galón del bunker

núm. 6 se determinaron los galones de combustible y dinero que la empresa pierde anualmente al no reutilizar y desechar el calor que posee el condensado.

$$C = \frac{\dot{Q}_{\text{Total}}}{P_{\text{cc}}}$$

Donde

C= galones de bunker por hora perdidos

\dot{Q} = calor perdido en unidades térmicas británicas

P_{cc} = poder calorífico del bunker núm.6 $\left(150\,957,72 \frac{\text{Btu}}{\text{gal}} \right)$

$$C = \frac{\dot{Q}_{\text{Total}}}{P_{\text{cc}}} = \frac{38\,593,44}{150\,957,72} = 0,256 \frac{\text{gal}}{\text{h}}$$

$$0,256 \frac{\text{gal}}{\text{h}} * \frac{24\text{h}}{1 \text{ día}} * \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} = 2\,239,56 \frac{\text{gal}}{\text{año}}$$

Como el costo del galón de bunker núm. 6 es de Q 18,78 se tiene que:

$$\text{Costo} = 2\,239,56 * Q18,78 = Q 42\,058,90$$

Por lo tanto, actualmente se están desperdiciando 2 239,56 galones de bunker y gastando Q 42 058,90 al año, pues no se está aprovechando la energía que posee el condensado que es eliminado del sistema de vapor y que le ha sido provista por este combustible en la cadera Kewanee.

- Cantidad de condensado

El volumen de condensado generado anualmente es de 410 844,26 galones aproximadamente. Este volumen se determinó al convertir los flujos

volumétricos de cada línea de descarga de galones por minuto a galones por año (con excepción de la trampa núm.8) y luego sumarlos.

$$\begin{aligned} \text{Volumen}_{\text{Trampa núm. 1}} &= 0,21 \frac{\text{gal}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} * \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} = 109\,272,35 \frac{\text{gal}}{\text{año}} \\ \text{Volumen}_{\text{Trampa núm. 2}} &= 0,17 \frac{\text{gal}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} * \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} = 88\,852,01 \frac{\text{gal}}{\text{año}} \\ \text{Volumen}_{\text{Trampa núm. 3}} &= 0,14 \frac{\text{gal}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} * \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} = 71\,803,28 \frac{\text{gal}}{\text{año}} \\ \text{Volumen}_{\text{Trampa núm. 4}} &= 0,03 \frac{\text{gal}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} * \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} = 15\,420,89 \frac{\text{gal}}{\text{año}} \\ \text{Volumen}_{\text{Trampa núm. 5}} &= 0,04 \frac{\text{gal}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} * \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} = 22\,839,54 \frac{\text{gal}}{\text{año}} \\ \text{Volumen}_{\text{Trampa núm. 6}} &= 0,05 \frac{\text{gal}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} * \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} = 25\,793,44 \frac{\text{gal}}{\text{año}} \\ \text{Volumen}_{\text{Trampa núm. 7}} &= 0,02 \frac{\text{gal}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} * \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} = 11\,779,23 \frac{\text{gal}}{\text{año}} \\ \text{Volumen}_{\text{Trampa núm. 9}} &= 0,01 \frac{\text{gal}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} * \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} = 5\,762,93 \frac{\text{gal}}{\text{año}} \\ \text{Volumen}_{\text{Trampa núm. 10}} &= 0,03 \frac{\text{gal}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} * \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} = 15\,954,96 \frac{\text{gal}}{\text{año}} \end{aligned}$$

El volumen generado por la trampa de vapor número ocho se determinó calculando el tiempo que esta permanece abierta al año y posteriormente multiplicándolo por su flujo volumétrico, como se muestra a continuación:

$$2\,240 \frac{\text{minutos}}{\text{mes}} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = 26\,880 \frac{\text{minutos}}{\text{año}} * 1,64 \frac{\text{gal}}{\text{min}} = 43\,365,64 \frac{\text{gal}}{\text{año}}$$

En la tabla XIII se presenta un resumen del volumen anual generado, de forma total e individual, en cada una de las líneas.

Tabla XIV. **Volumen anual de condensado**

Trampa núm.	Galones
1	109 272,35
2	88 852,01
3	71 803,28
4	15 420,89
5	22 839,54
6	25 793,44
7	11 779,23
8	43 365,64
9	5 762,93
10	15 954,96
Total	410 844,26

Fuente: elaboración propia.

2.1.2. Galvanizado

Es el proceso de realizar una unión metalúrgica entre el acero y el zinc. En otras palabras, el hierro y el zinc reaccionan entre sí para formar una serie de capas (aleaciones) que hacen que el recubrimiento sea una parte integral de la superficie del acero.

Cuando una pieza de acero limpia se sumerge en zinc fundido a 450 °C (840 °F), se forman una serie de capas. La velocidad de esta reacción inicial es muy rápida, incrementándose el grosor de la capa con el tiempo.

El grosor principal de capa de zinc se hace en el primer minuto de contacto, luego la reacción se hace más lenta y el espesor de recubrimiento no

incrementa significativamente. Por ello, normalmente, cada tubo debería estar sumergido en el baño de zinc de 1 a 3 minutos, variando este en función del peso de cada tubo.

El tiempo de contacto entre el baño de zinc y la tubería es un factor que determina el grosor de la capa de zinc de galvanizado, pero hay otros factores como: la preparación de la superficie, la temperatura de entrada del tubo, la temperatura del baño de zinc, la altura del nivel de zinc en la paila, el ángulo de salida del tubo, la presión de aire comprimido en la dona, la velocidad de los rodos magnéticos y la presión del soplador que afectan a la misma.

En el horno, luego de su galvanizado, los tubos son trasladados a la caja flux, en donde existe una mezcla de zinc y aluminio que les proporciona cierto brillo. Después los tubos son llevados por los operarios del horno a los rodos magnéticos, de donde son trasladados a la dona, que es un aro alimentado con aire comprimido que se encarga de dar una capa externa uniforme de zinc. Posteriormente los tubos son llevados al soplo que funciona con vapor de agua y que es empleado para soplar internamente a los tubos, eliminando el excedente de zinc con el que salen del horno de galvanizado.

Por último, los tubos son trasladados mediante bandas transportadoras y rodos al área de roscadoras para su roscado y, si no son roscados, a la bodega de producto terminado. Además, en esta área los trabajadores del área de control de calidad miden el grosor de la capa externa de zinc con el PosiTector, esta debe de estar entre 1,5 y 1,9 mils.

Figura 25. **PosiTector**



Fuente: laboratorio de control de calidad, Empresa de Tubos.

Previo al proceso de galvanizado, la superficie de los tubos es preparada para limpiarla y permitir una buena adherencia de la capa de zinc.

En la Empresa de Tubos la preparación de la superficie se realiza en tres etapas principales: desengrase, decapado y fluxado; con dos enjuagues, uno después del desengrase y otro después del decapado.

- **Desengrase:** su objetivo es que el acero se encuentre libre de grasa y suciedad, para que esto no afecte y evite la adherencia del zinc en el proceso de galvanizado. También se remueven los residuos de soldadura y escoria que traen los tubos luego de su proceso de producción. Este proceso se realiza al sumergir los tubos en una solución de hidróxido de sodio a una temperatura entre 50 y 60 °C, a una concentración entre 4 y 6 % y con un pH entre 11 y 14.

Un adecuado desengrase se logra dando un tiempo adecuado que permita que la solución alcalina elimine la suciedad del tubo mediante su

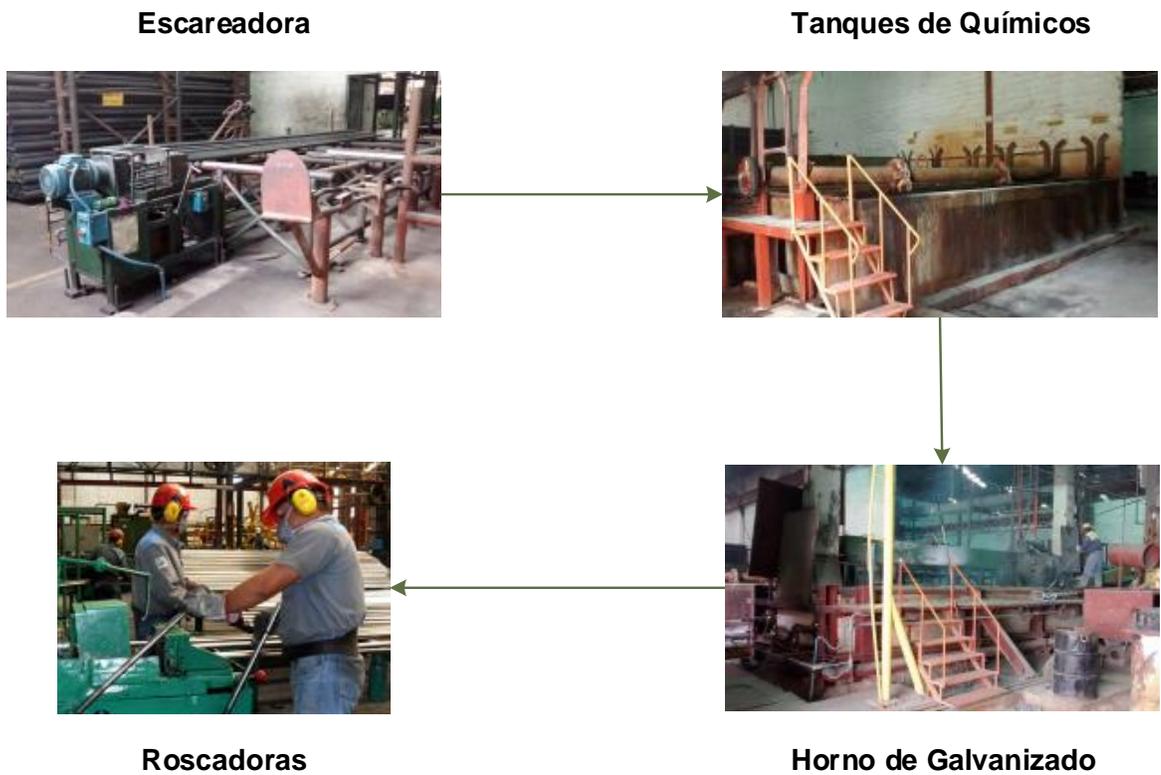
agitación, para que exista una mayor fricción entre la superficie y la solución provocando su limpieza.

- Enjuague: su objetivo es eliminar la suciedad removida por el desengrase del tubo. Esta etapa se realiza con agua a una temperatura ambiente entre 20 y 30 °C y con un pH entre 7 y 11.
- Decapado: se realiza con la finalidad de eliminar cualquier óxido de la superficie que no haya sido removido en el desengrase y picar la superficie de acero para que esto permita anclar el zinc de galvanizado. Es importante llevar un control adecuado del tiempo, ya que de lo contrario esto provoca un desgaste innecesario en la superficie del tubo. Esta etapa se realiza con ácido sulfúrico a una temperatura entre 65 y 70 °C y una concentración entre el 10 y 12 %.
- Enjuague: se realiza con la finalidad de eliminar la superficie removida por el ácido sulfúrico en la etapa del decapado. Esta etapa se realiza con agua a una temperatura, ambiente entre 20 y 30 °C, y un pH entre 1 y 4.
- Fluxado: su objetivo es permitir una interacción entre el zinc fundido y el acero, para ello se sumergen los tubos en saclon (solución en base a cloruro de amonio-zinc). Cuando el tubo es retirado de esta solución, debe ser pasado al proceso de galvanizado, pues de lo contrario la superficie del tubo empezará a corroerse. Esta etapa se realiza a una temperatura ambiente, entre 20 y 30 °C, una concentración entre 18 y 24 °Be y un pH entre 3,5 y 4,5.

Previo a la preparación de su superficie, los tubos de ½", ¾", 1", 1¼" y 1½" de diámetro son llevados a la escareadora con la finalidad de eliminar la rebaba

con la que llegan luego de su fabricación. A los tubos de 2", 2½", 3" y 4" no se les quita la rebaba y son traídos de la bodega de producto semielaborado para su limpieza.

Figura 26. **Galvanizado de tubos**



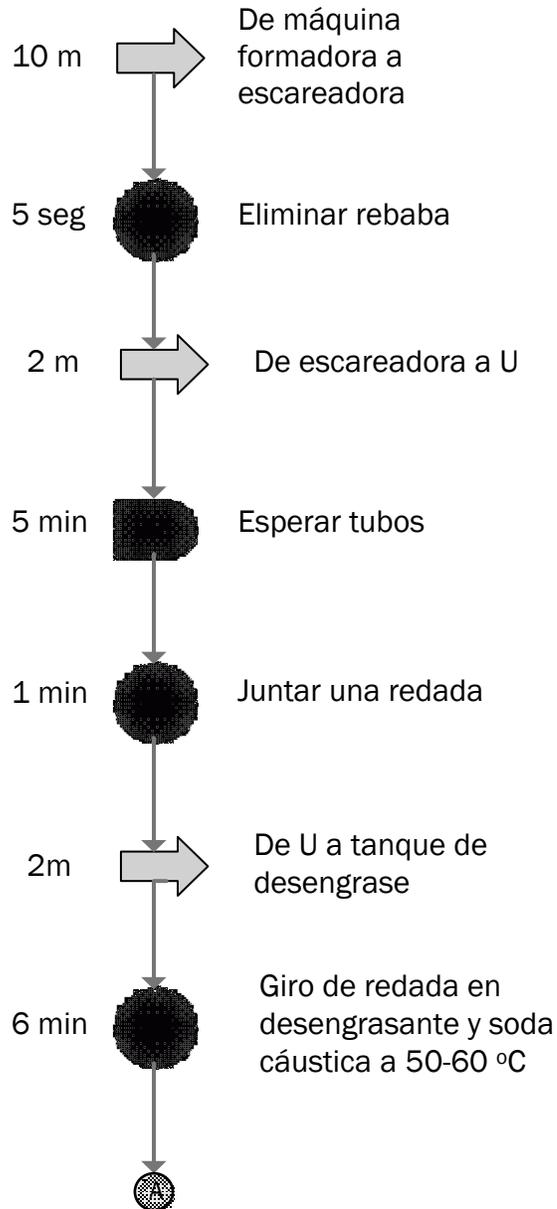
Fuente: elaboración propia, con fotos tomadas en la Empresa de Tubos.

2.1.2.1. **Diagrama de proceso**

A continuación en la figura 27 se explicará el diagrama de proceso.

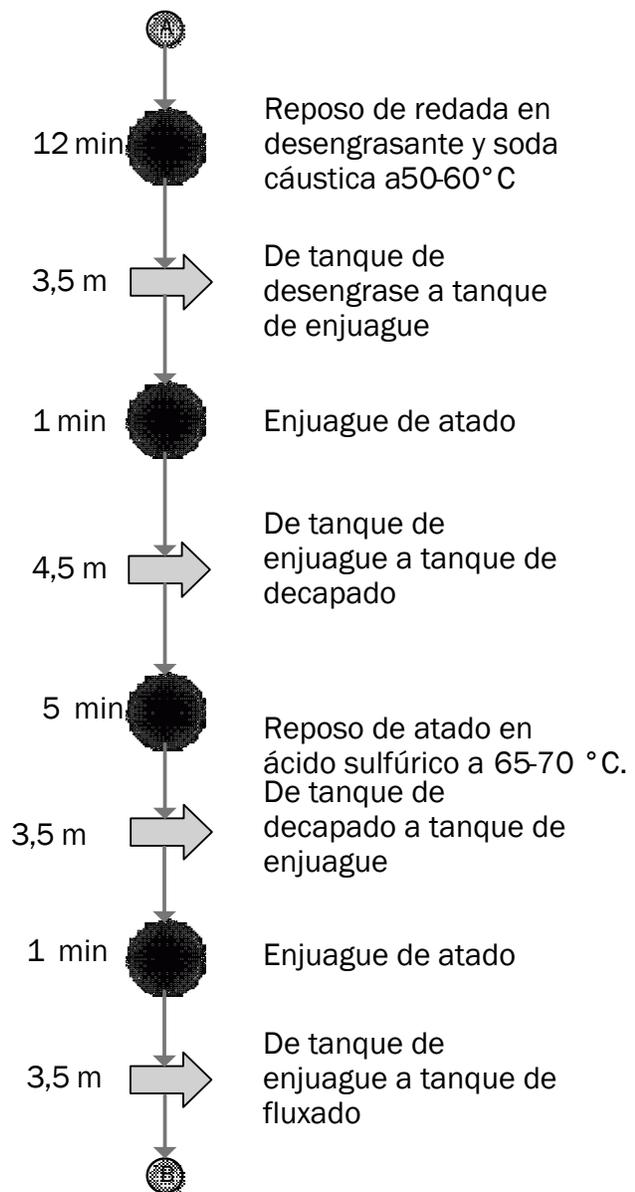
Figura 27. Diagrama de flujo de operaciones de producción de vapor 1

Empresa: Empresa de Tubos	Hoja: 1 de 4
Área: calderas	Fecha: 1/12/14
Proceso: producción de vapor	Método: actual
Elaborado por: Hugo López	Producto: Tubo de 1/2", 3/4", 1", 1 1/4" y 1 1/2"



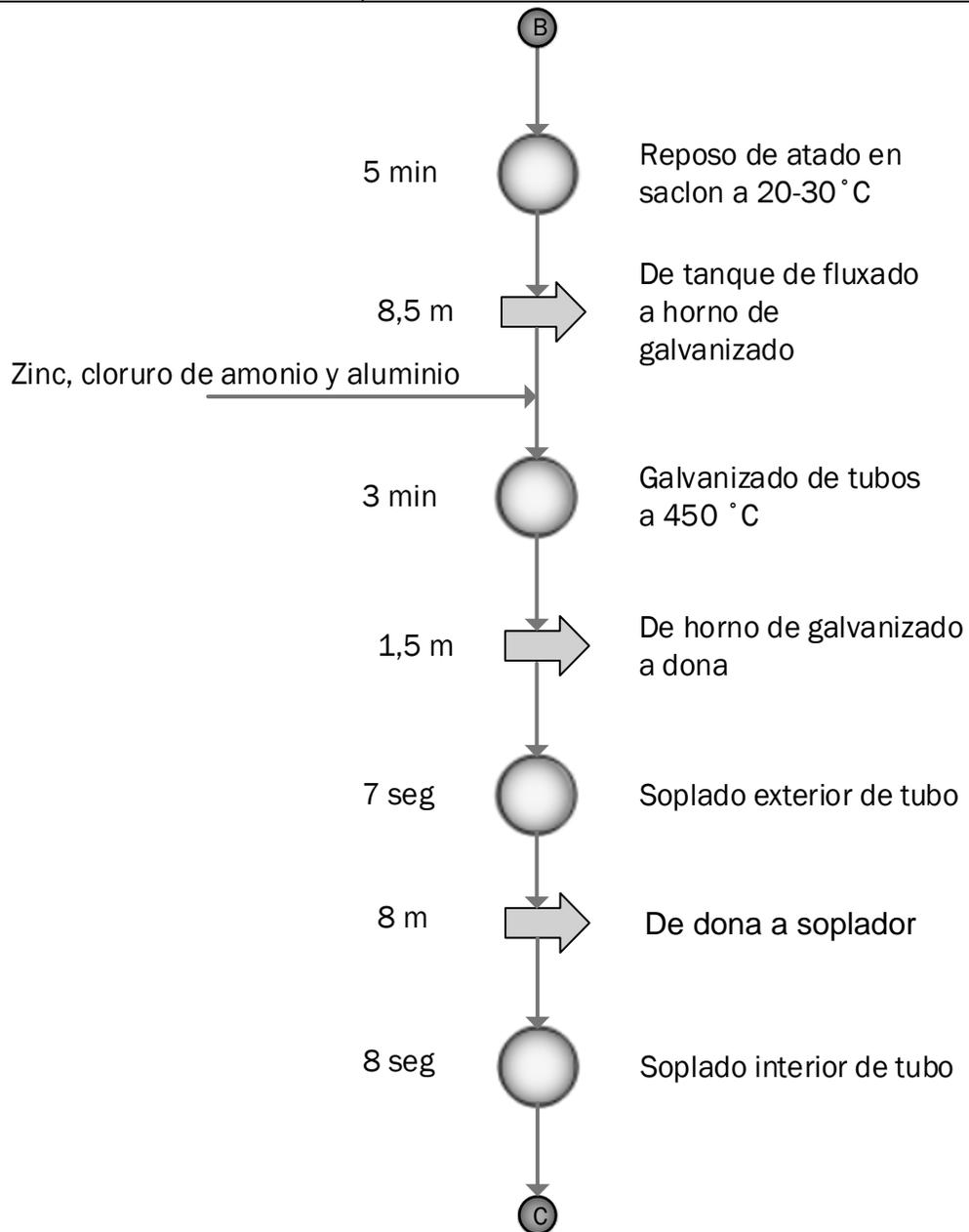
Continuación de la figura 27.

Empresa: Empresa de Tubos	Hoja: 2 de 4
Área: calderas	Fecha: 1/12/14
Proceso: producción de vapor	Método: actual
Elaborado por: Hugo López	Producto: Tubo de 1/2", 3/4", 1", 1 1/4" y 1 1/2"



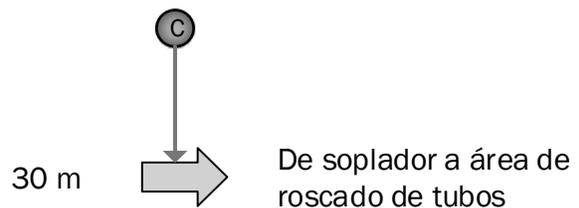
Continuación de la figura 27.

Empresa: Empresa de Tubos	Hoja: 3 de 4
Área: calderas	Fecha: 1/12/14
Proceso: producción de vapor	Método: actual
Elaborado por: Hugo López	Producto: tubo de ½", ¾", 1", 1 ¼" y 1 ½"



Continuación de la figura 27.

Empresa: Empresa de Tubos	Hoja: 4 de 4
Área: calderas	Fecha: 1/12/14
Proceso: producción de vapor	Método: actual
Elaborado por: Hugo López	Producto: tubo de ½", ¾", 1", 1 ¼" y 1 ½"

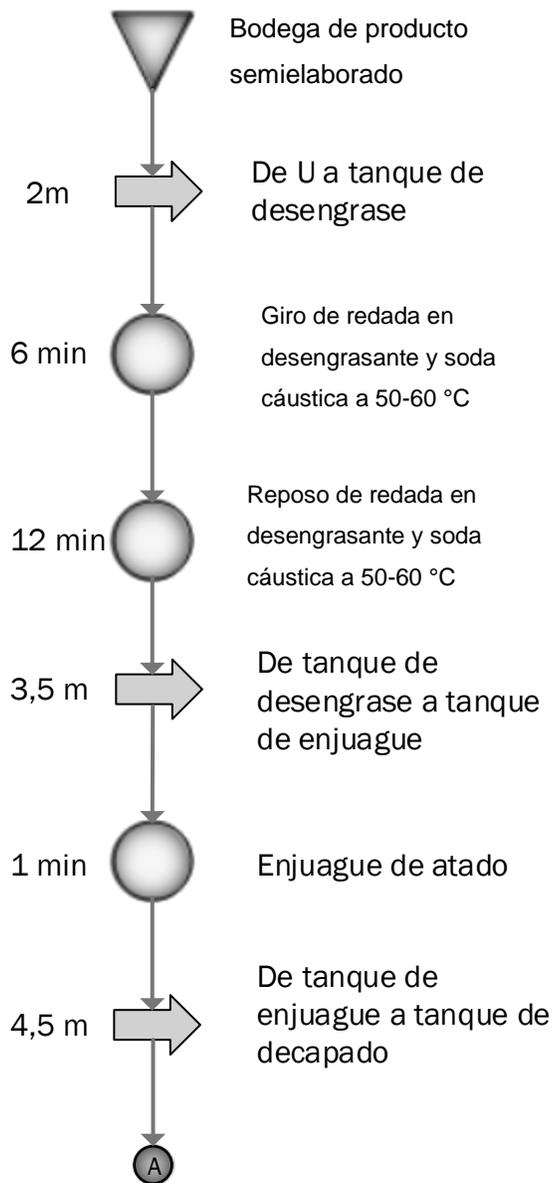


Cuadro resumen				
Actividad	Símbolo	Cantidad	Tiempo (min.)	Distancia (m)
Transporte	→	11	_____	77
Operación	○	11	34,33	_____
Demora	D	1	5	_____
Total		23	39,33	77

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

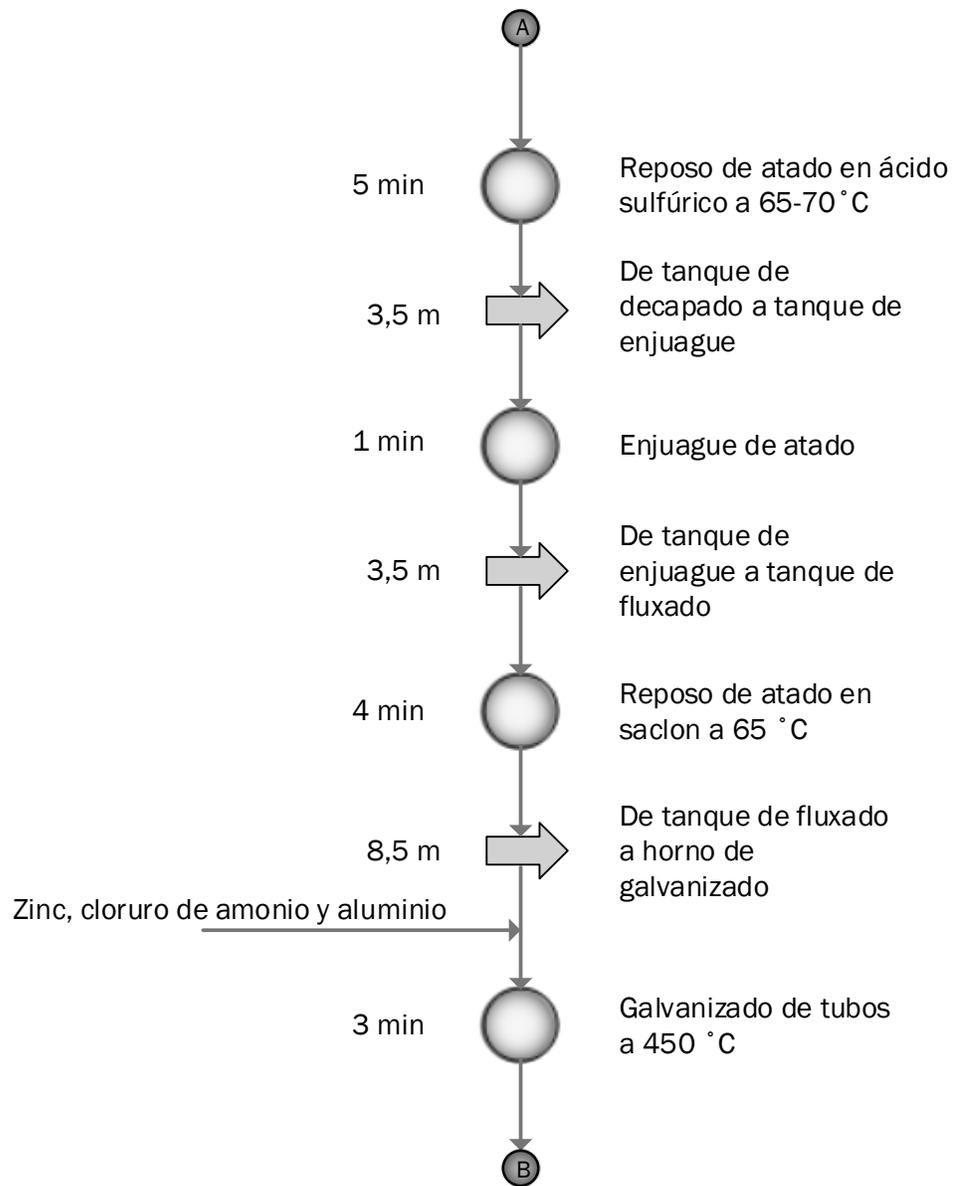
Figura 28. Diagrama de flujo de operaciones de producción de vapor 2

Empresa: Empresa de Tubos	Hoja: 1 de 3
Área: calderas	Fecha: 1/12/14
Proceso: producción de vapor	Método: actual
Elaborado por: Hugo López	Producto: tubo de 2", 2 1/2", 3" y 4"



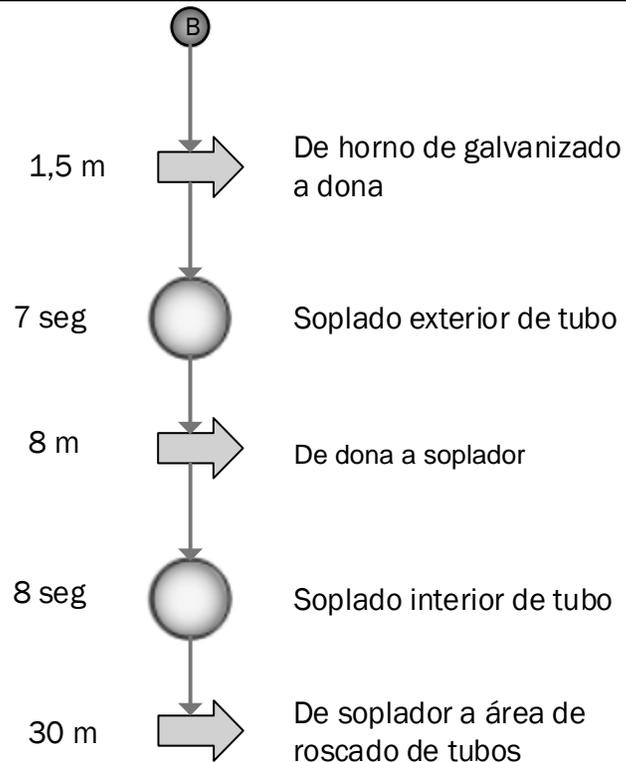
Continuación de la figura 28.

Empresa: Empresa de Tubos	Hoja: 2 de 3
Área: calderas	Fecha: 1/12/14
Proceso: producción de vapor	Método: actual
Elaborado por: Hugo López	Producto: tubo de 2", 2 ½", 3" y 4"



Continuación de la figura 28.

Empresa: Empresa de Tubos	Hoja: 3 de 3
Área: calderas	Fecha: 1/12/14
Proceso: producción de vapor	Método: actual
Elaborado por: Hugo López	Producto: tubo de 2", 2 ½", 3" y 4"



Cuadro resumen				
Actividad	Símbolo	Cantidad	Tiempo (min.)	Distancia (m)
Almacenamiento	▽	1	_____	_____
Transporte	→	9	_____	65
Operación	○	9	32,25	_____
Total		19	32,25	65

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2010.

2.1.2.2. Productividad actual del proceso de soplado de tubos

La productividad es un indicador utilizado por las empresas para medir la relación entre los recursos empleados y productos producidos.

Un valor de productividad menor a la unidad indica que se está empleando una mayor cantidad de recursos que la cantidad de productos fabricados. Una productividad igual a la unidad indica que los recursos empleados y los productos fabricados son iguales. Una productividad mayor a la unidad indica que se está produciendo una mayor cantidad de productos que los recursos empleados para su fabricación.

El fin de analizar la productividad del proceso de soplado de tubos es determinar la eficiencia con la que actualmente se utilizan los recursos necesarios para el proceso de producción de vapor (agua, químicos y bunker).

Para determinar la productividad de este proceso se investigaron los registros de la producción de tubos galvanizados del último año, la cual fue de 206 065 tubos. En la siguiente tabla se observa el registro de la producción total y por mes.

Tabla XV. **Tubos galvanizados**

Año 2013	
Octubre	18 571 tubos
Noviembre	17 490 tubos
Diciembre	19 138 tubos
Año 2,014	
Enero	22 577 tubos
Febrero	13 860 tubos
Marzo	30 633 tubos
Mayo	24 743 tubos
Junio	34 717 tubos
Julio	20 684 tubos
Septiembre	26 428 tubos
Octubre	4 492 tubos
Noviembre	27 931 tubos
Total	206 065 tubos

Fuente: elaboración propia.

Los meses de abril y agosto de 2014 fueron omitidos debido a que en esos meses se detuvo el proceso de galvanizado, pues el horno recibió un mantenimiento completo.

Partiendo de que el consumo anual de químicos, agua y bunker es de 288, 1497 572,27 y 99 556 galones respectivamente y que los tubos galvanizados producidos durante el último año fueron 206 065 se tiene que la productividad por factor y total del proceso de soplado de tubos es:

- Productividad por factor

$$\text{Agua} = \frac{\text{Producción}}{\text{Insumos}} = \frac{206\,065 \text{ gal}}{1\,497\,572,27 \text{ gal}} = 0,137 \frac{\text{tubos}}{\text{gal}}$$

$$\text{Químicos} = \frac{\text{Producción}}{\text{Insumos}} = \frac{206\,065 \text{ gal}}{288 \text{ gal}} = 715,50 \frac{\text{tubos}}{\text{gal}}$$

$$\text{Bunker} = \frac{\text{Producción}}{\text{Insumos}} = \frac{206\,065 \text{ gal}}{99\,556 \text{ gal}} = 2,07 \frac{\text{tubos}}{\text{gal}}$$

De los cálculos anteriores se deduce que la productividad del agua, químicos y bunker es 0,137, 715,50 y 2,07 tubos/gal respectivamente.

3. PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADO

Para la elaboración de la propuesta, se analizarán los diferentes equipos e instrumentos de medición, se determinará el área disponible para la instalación del sistema con el fin de elaborar un plano del mismo y con ello seleccionar el diámetro, longitud, material y aislamiento térmico requerido para la tubería, carga mínima necesaria por las bombas y dimensiones del tanque de almacenamiento de condensado.

3.1. Vapor de agua

Es el fluido en estado gaseoso que se obtienen cuando el agua cambia de un estado líquido a un estado gaseoso, debido a la adición de calor proveniente de una fuente externa hasta una temperatura igual o mayor a la de ebullición a presión constante.

3.1.1. Tipos de vapor de agua

A continuación se explicarán los tipos de vapor de agua.

3.1.1.1. Vapor saturado

Es el vapor que se obtiene luego de concluido el proceso de cambio de fase del agua de un estado líquido a un estado gaseoso. Este es un vapor que se halla al borde de la fase líquida y cualquier cantidad de calor que pierda lo hará condensarse.

3.1.1.2. Vapor húmedo

Es el vapor que se obtiene cuando la fase líquida y gaseosa del agua coexiste en equilibrio y se puede observar durante el proceso de evaporización, hasta que la totalidad del agua se convierte en vapor, regularmente a este tipo de vapor se le conoce como mezcla líquido-vapor saturado.

3.1.1.3. Vapor sobrecalentado

Cuando al vapor saturado se le transfiere una mayor cantidad de calor mediante el incremento de su temperatura a una mayor de la de ebullición a presión constante, se obtiene un vapor sobrecalentado, es decir, un vapor que al perder una cantidad de energía hasta la temperatura de ebullición no se condensará.

3.2. Condensado

Es el líquido que se genera cuando el vapor pasa de fase gaseosa a líquida. Esto ocurre debido a que el vapor pierde energía calorífica al transferirla a la tubería y equipos que lo transportan, distribuyen o utilizan.

3.3. Sistemas de recuperación de condensado

Consiste en un conjunto de tuberías, accesorios, instrumentos de medición y equipos utilizados para la recuperación, almacenamiento y recirculación del condensado hacia las calderas u otras aplicaciones.

Estos sistemas son implementados para reducir el consumo de combustible, agua y químicos, al aprovechar el volumen, energía y tratamiento

químico que ha recibido el agua que alimenta a las calderas y que posee el condensado que es desechado del sistema de vapor.

Los sistemas de recuperación de condensado pueden clasificarse en:

- Sistemas de recuperación atmosféricos
- Sistemas de recuperación presurizados

3.3.1.1. Sistemas de recuperación atmosféricos

Este tipo de sistemas recuperan el condensado y lo almacenan en un tanque abierto a la atmósfera, con la finalidad de eliminar el vapor *flash* que se genera debido a que el condensado es eliminado de un sistema de alta presión (vapor) a un sistema de baja presión (atmósfera).

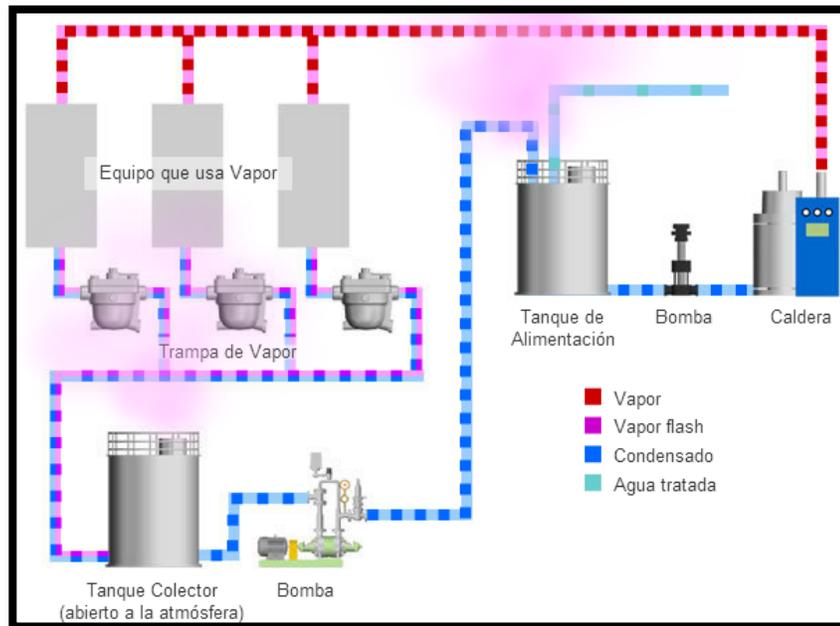
Entre las ventajas de este tipo de sistemas están:

- Se simplifica el diseño e instalación del sistema.
- Requieren de una menor inversión.

Entre las desventajas de este tipo de sistemas están:

- Existen pérdidas de energía debido a que el vapor *flash* es eliminado y el condensado tiene contacto con el ambiente.
- La máxima temperatura a la cual puede ser recuperado el condensado es de 100 °C.
- Se pueden generar grandes nubes cuando el vapor *flash* es eliminado del sistema, lo cual puede ocasionar problemas en las áreas de trabajo aledañas.

Figura 29. Sistema de recuperación atmosférico



Fuente: TLV. www.tlv.com. Consulta: junio de 2015.

3.3.1.2. Sistemas de recuperación presurizados

Este tipo de sistemas recuperan el condensado y lo almacenan en un tanque cerrado a la atmósfera, de donde el vapor *flash* generado es enviado al tanque principal de agua de alimentación para calentarla y el condensado es enviado a la línea de alimentación de la caldera para su reutilización.

Entre las ventajas de este tipo de sistemas están:

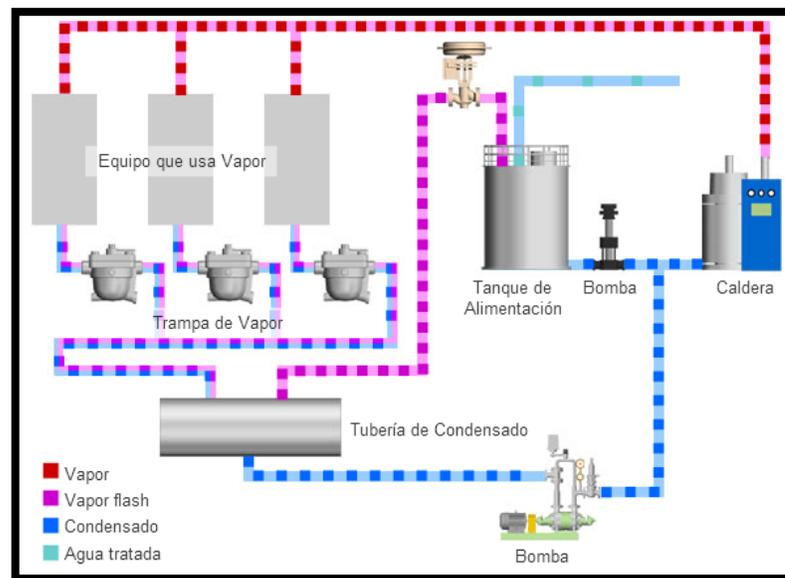
- El condensado puede recuperarse a temperaturas mayores a los 100 °C, recuperando una mayor cantidad de energía, debido a que el sistema se encuentra cerrado a la atmósfera.

- Se genera poco vapor *flash*, el cual es utilizado para calentar al agua de alimentación de la caldera.
- No existe formación de nubes de vapor.

Entre las desventajas de este tipo de sistemas están:

- El diseño e instalación del sistema es más complejo y especializado.
- Este tipo de sistemas tienen un mayor costo.

Figura 30. Sistema de recuperación presurizado



Fuente: TLV. www.tlv.com. Consulta: junio 2015.

3.4. Área disponible para la instalación del sistema

El área que posee el cuarto de calderas es de 63,21 m² y la ocupada por los equipos es de 24,98 m², al restar estas dos se obtiene que el área

disponible para realizar la instalación de los equipos del sistema de recuperación de condensado es de 24,98 m².

En la siguiente tabla se observa el área ocupada por cada uno de los equipos en el área de calderas.

Tabla XVI. **Distribución del área en el cuarto de calderas**

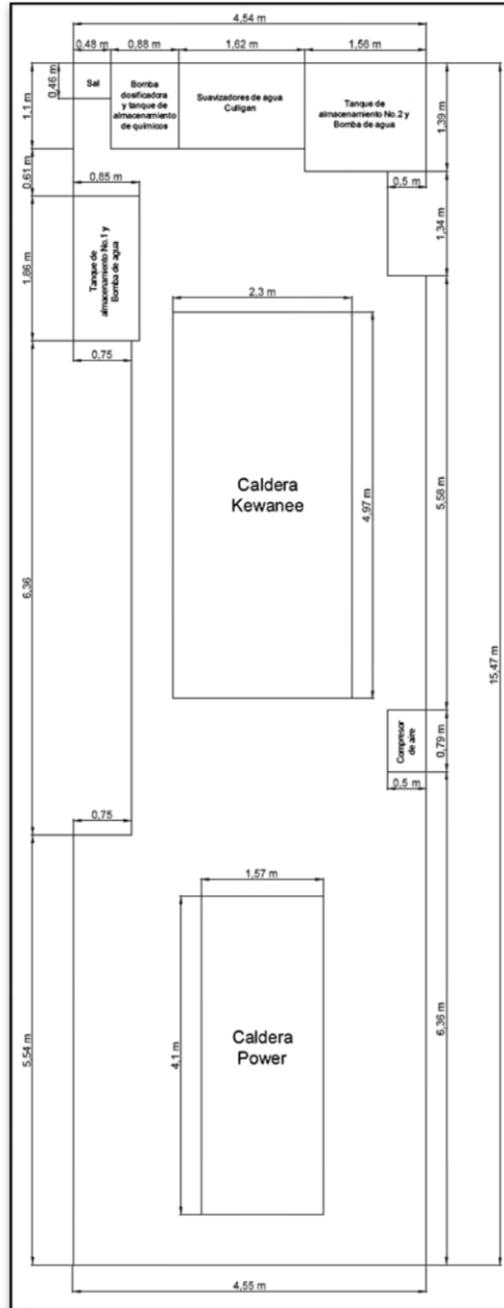
Equipos	Área ocupada (m²)
Caldera Kewanee	11,43
Caldera Power	6,44
Compresor de aire	0,40
Tanque de almacenamiento núm. 1	1,58
Tanque de almacenamiento núm. 2	2,17
Suavizadores de agua Culligan	1,78
Tanque de almacenamiento de químicos	0,97
Área para el almacenamiento de sal	0,22
Área total ocupada por los equipos	2,98
Área total del cuarto de calderas	63,21
Área disponible	38,23

Fuente: elaboración propia.

3.4.1. **Distribución de los equipos en el área de calderas**

En la siguiente figura se observa el plano del área de calderas, en donde están representadas las ubicaciones de cada uno de los equipos.

Figura 31. Área de calderas



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

3.5. Recuperación de condensado

Para recuperar el condensado se analizará la localización de cada una de las descargas en las trampas de vapor y algunos de los equipos y accesorios necesarios para su recuperación.

3.5.1. Trampas de vapor

Actualmente existen diez trampas de vapor instaladas en el sistema, las cuales se encuentran localizadas en los alrededores del área de galvanizado.

3.5.1.1. Localización de las trampas de vapor

- Trampa núm. 1 y 2: son las encargadas de eliminar el condensado generado en las líneas de vapor que calientan a los tanques subterráneos de bunker, se encuentran ubicadas a un costado del área de galvanizado y son trampas mecánicas de cubeta invertida.
- Trampa núm. 3: es la encargada de eliminar el condensado generado en el precalentador de bunker que utiliza el horno, se encuentra ubicada a un costado del área de galvanizado y es una trampa termodinámica de disco.
- Trampa núm. 4, 6 y 7: son las encargadas de eliminar el condensado generado en las líneas de distribución de vapor, se encuentran ubicadas a un costado del área de galvanizado y son trampas mecánicas de cubeta invertida.

- Trampa núm. 5: es la encargada de eliminar el condensado generado en el precalentador de bunker de la caldera Kewanee, está ubicada a un costado de este equipo en el área de calderas y es una trampa mecánica de cubeta invertida.
- Trampa núm. 8: es la encargada de eliminar el condensado generado en la línea de vapor que calienta a los tanques de desengrase y decapado, está ubicada a un costado del tanque de fluxado en el área de galvanizado y es una trampa mecánica de cubeta invertida.
- Trampa núm. 9: es la encargada de eliminar el condensado generado en el precalentador de bunker de la caldera Power, está ubicada a un costado de este equipo en el área de calderas y es una trampa mecánica de cubeta invertida.
- Trampa núm. 10: es la encargada de eliminar el condensado generado en la línea de vapor que alimenta al soplador, está ubicada a un costado del horno en el área de galvanizado y es una trampa mecánica de cubeta invertida.

Figura 32. **Trampas de vapor núm. 8 y núm. 3**



Fuente: área de galvanizado y calderas, Empresa de Tubos.

3.5.2. Bomba de condensado

Es un equipo utilizado para recolectar y enviar el condensado a un tanque para su almacenamiento o directamente a la caldera para su reutilización.

3.5.2.1. Tipos

Entre los tipos de bombas de condensado están:

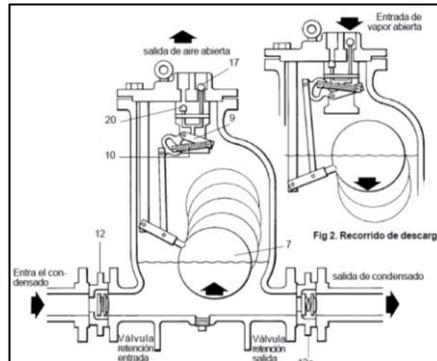
- Bombas mecánicas

Son utilizadas para bombear condensado a temperaturas por encima de los 195 °F sin el uso de energía eléctrica, al aprovechar la presión con la que el fluido es eliminado del sistema de vapor.

Estas bombas poseen una válvula de retención en la entrada, una válvula de venteo, un depósito, un flotador y una válvula de retención en la salida. El condensado ingresa de la línea de recuperación a la bomba por medio de la válvula de retención en la entrada, comenzándose a llenar el depósito y a elevar el flotador. Cuando el depósito se ha llenado por completo, el flotador activa un mecanismo que abre la válvula de retención en la salida y cierra la válvula de venteo, permitiendo que la presión motriz del condensado ingrese a la bomba y lo lleve a través de la válvula de retención en la salida a la línea de retorno.

Durante el periodo de descarga, el nivel del flotador desciende hasta que alcanza su punto más bajo, activando nuevamente el mecanismo para cerrar la válvula de retención en la salida y abrir a la válvula de venteo, reiniciando el ciclo de trabajo de la bomba.

Figura 33. **Bomba mecánica de condensado**

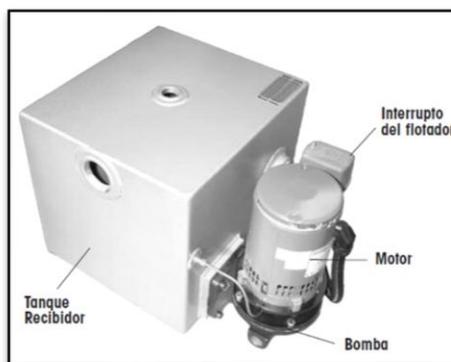


Fuente: Spirax sarco. www2.spiraxsarco.com/mx/products-services. Consulta: junio de 2015.

- **Bomba eléctrica**

Son utilizadas para bombear el condensado a temperaturas de hasta 190 °C. Su funcionamiento es similar al de los equipos mecánicos, con la diferencia de que el flotador en función del nivel de condensado en el tanque receptor arranca o detiene mediante un interruptor la operación del motor que hace girar a la bomba.

Figura 34. **Bomba eléctrica de condensado**



Fuente: Watson McDaniel. www.watsonmcdaniel.com/v2. Consulta: junio de 2015.

3.5.3. Tanque de condensado

Es un recipiente generalmente de acero al carbono o acero inoxidable utilizado para contener un determinado volumen de condensado, para separar y eliminar el vapor *flash* generado.

3.5.4. Tubería

Es un conjunto de tubos conectados entre sí mediante accesorios utilizados para conducir y distribuir fluidos.

3.5.4.1. Características

Las características que se deben tomar en cuenta para seleccionar un tipo de tubería y sus accesorios son: aplicación, material, diámetro, longitud y accesorios para adaptarla al área donde estará ubicado el sistema.

3.5.5. Válvulas

Son dispositivos mecánicos utilizados para regular, restringir o permitir el paso de un fluido a través de una tubería.

3.5.5.1. Tipos

Algunas de las válvulas que se pueden utilizar en un sistema de recuperación de condensado son: de compuerta, globo, bolas y retención.

3.5.5.1.1. Válvula de paso

Son válvulas utilizadas para permitir o cortar el paso del fluido que circula a través de una tubería.

3.5.5.1.2. Válvula de compuerta

Estas válvulas poseen en su interior una compuerta que desciende o asciende cortando o permitiendo el paso del fluido dentro de la tubería al hacer girar la llave de la válvula.

Figura 35. **Válvula de compuerta**

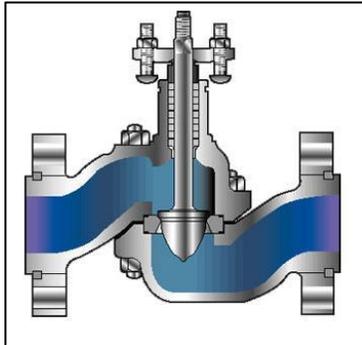


Fuente: Baruch Cerezo Herrera. www.baruchcerezoh.blogspot.com. Consulta: junio de 2015.

3.5.5.1.3. Válvula de globo

Estas válvulas poseen en su interior un disco que es el encargado de regular el paso del fluido a través de la tubería, al ser desplazado hacia abajo o hacia arriba por medio de un tornillo que se desplaza al girar la llave de la válvula.

Figura 36. **Válvula de globo**



Fuente: Valvias. www.valvias.com. Consulta: junio de 2015.

3.5.5.1.4. **Válvula de bolas**

Estas válvulas poseen en su interior un obturador en forma de bola perforada, el cual se encarga de cortar o permitir por completo el paso del fluido a través de la tubería, al hacer girar la palanca de la válvula 90°.

Figura 37. **Válvula de bolas**

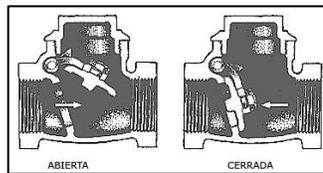


Fuente: Wikipedia. www.es.wikipedia.org/wiki/V%C3%A1lvula_de_bola. Consulta: junio de 2015.

3.5.5.1.5. Válvula de retención

Estas válvulas son accionadas por la propia presión del fluido, permitiendo su paso en una sola dirección e impidiendo que retroceda, al cerrarse la válvula inmediatamente después de que el fluido ha ingresado.

Figura 38. **Válvula de retención**



Fuente: Sapiens Man. www.sapiensman.com. Consulta: junio de 2015.

3.5.6. Medidor de presión

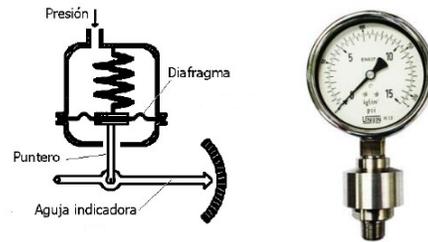
Son instrumentos utilizados para medir la presión manométrica, absoluta, diferencial o de vacío de los fluidos.

3.5.6.1. Tipos o modelos

Entre los medidores de presión que se pueden utilizar en el sistema de recuperación de condensado debido a la aplicación y condiciones de trabajo están:

- Medidor de diafragma: posee un diafragma en su interior en forma de disco que de un lado está en contacto con el fluido y del otro está conectado a una aguja, la cual indica la presión del fluido debido a la deformación sufrida por el diafragma y que es proporcional a la presión que este ejerce.

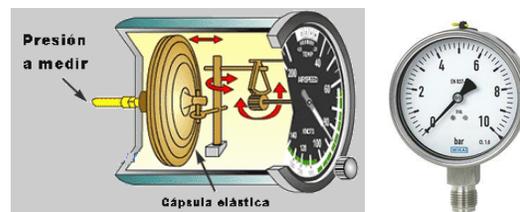
Figura 39. **Medidor de presión de diafragma**



Fuente: Tecnoficio store online. www.tecnoficio.com/docs/doc57.php. Consulta: junio de 2015.

- Medidor tipo fuelle: consiste en un elemento de material flexible en forma de fuelle al cual entra el fluido a presión, provocando un estiramiento del fuelle que se transforma en el movimiento de la aguja, indicando la presión del el fluido en la carátula del instrumento.

Figura 40. **Medidor de presión tipo fuelle**



Fuente: Sabelotodo. www.sabelotodo.org. Consulta: junio de 2015.

- Tubo de Bourdon: consiste en un tubo metálico, elástico, aplanado y curvado de forma especial conocido como tubo de Bourdon, con un extremo abierto y empotrado y el otro extremo cerrado y libre de moverse. Este tubo tiende a enderezarse cuando en su interior actúa la presión ejercida por el fluido, provocando que el extremo libre se desplace, moviendo un juego de palancas y engranajes que se

transforman en el movimiento de una aguja que indica directamente la presión del fluido.

Figura 41. **Medidor de presión de tubo de Bourdon**

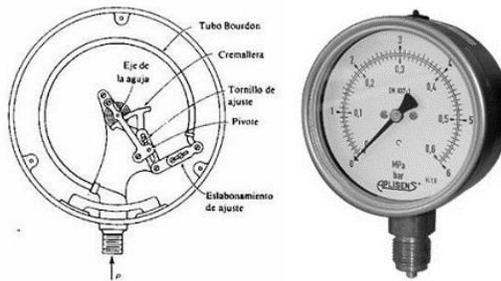


Figura: *Equipos y laboratorios*. www.equiposylaboratorio.com. Consulta: junio de 2015.

3.5.7. Medidor de temperatura

Son instrumentos utilizados para medir la temperatura de los cuerpos.

3.5.7.1. Tipos

Entre los instrumentos de medición de temperatura que se pueden utilizar en el sistema de recuperación de condensado debido las condiciones de trabajo y aplicación están:

- **Termómetro de vidrio:** es un tubo de vidrio formado por un bulbo y un tubo capilar que contienen fluidos como mercurio, alcohol, pentano o tolueno, los cuales se expanden o contraen dentro del tubo capilar cuando el termómetro entra en contacto con cuerpos que poseen diferentes temperaturas a la del ambiente. El tubo capilar posee una escala en donde se realiza la lectura de la temperatura.

Figura 42. **Termómetro de vidrio**

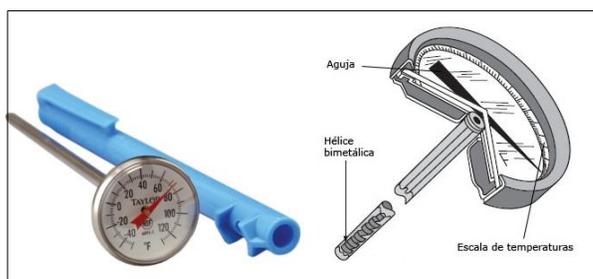
Fluido	Desde (°C)	Hasta (°C)
Mercurio	-35	280
Mercurio (tubo capilar lleno de gas)	-35	450
Pentano	-200	20
Alcohol	-110	50
Tolueno	-70	100



Fuente: Infoplc. www.infoplc.net. Consulta: junio de 2015.

- Termómetro bimetalico: es un tubo, regularmente de acero inoxidable, que posee en su interior una hélice elaborada de dos metales distintos (bimetálica) con diferentes coeficientes de dilatación. Cuando la temperatura del termómetro empieza a variar, la hélice bimetalica comenzará a enrollarse o a desenrollarse, produciendo un movimiento de la aguja sobre la escala e indicando la temperatura de los cuerpos. El rango de medida de este instrumento va desde -200 hasta 500 °C.

Figura 43. **Termómetro bimetalico**



Fuente: Sapiens man. www.sapiensman.com. Consulta: junio de 2015.

- Termómetro de bulbo y capilar: consiste esencialmente en un bulbo conectado por un capilar a una espiral. Cuando la temperatura del bulbo se incrementa, el gas líquido, vapor o mercurio dentro del bulbo se

expande y la espiral tiende a desenrollarse moviendo la aguja sobre la escala para indicar la temperatura de los cuerpos. El rango de medida de este instrumento va desde los -40 hasta los 500 °C.

Figura 44. **Termómetro de bulbo y capilar**

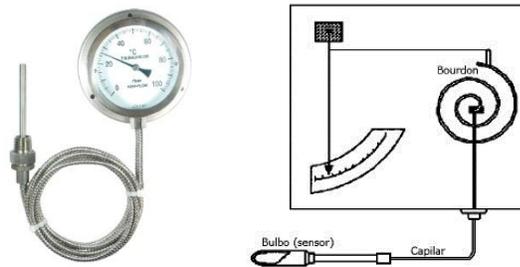


Figura: Tecno oficio. www.tecnoficio.com/docs/doc63.php. Consulta: junio de 2015.

3.6. Equipos seleccionados

Para el sistema de recuperación se utilizará una bomba eléctrica de condensado, un tanque de almacenamiento, un medidor de nivel, un medidor de temperatura, dos medidores de presión y una bomba de agua.

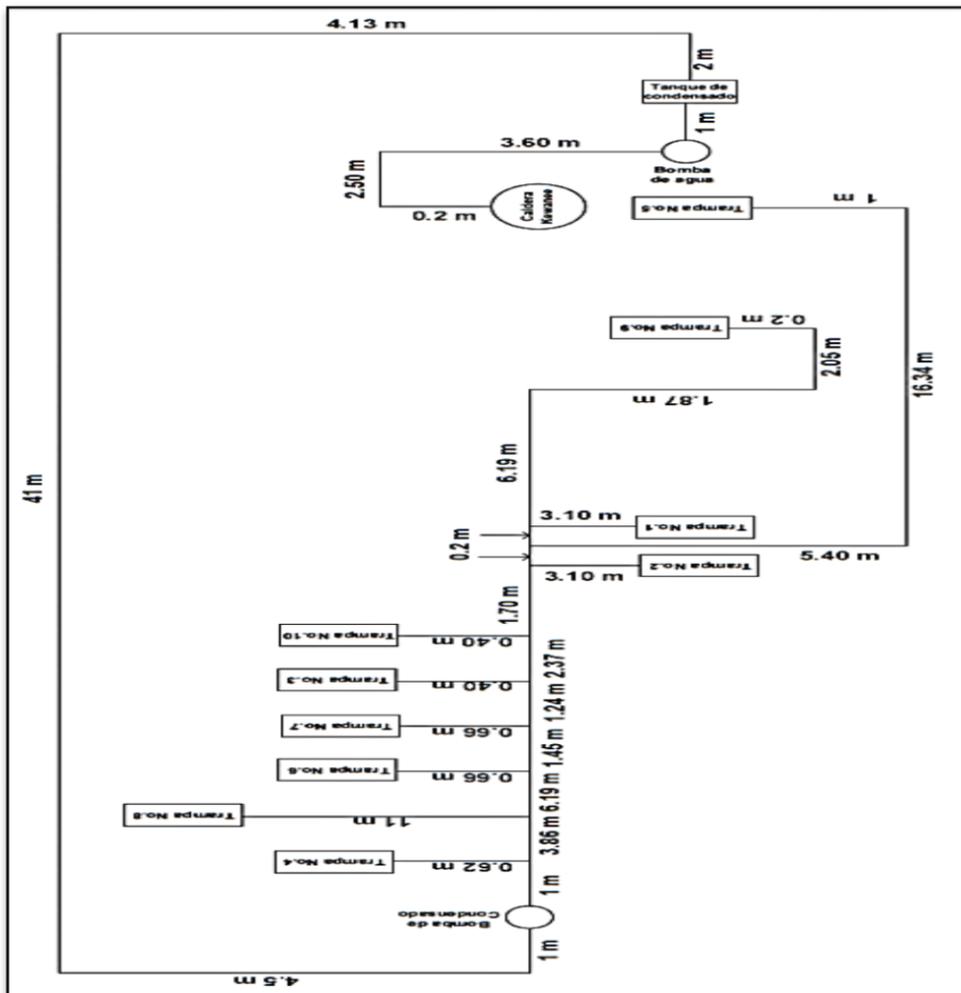
3.7. Área requerida para la instalación del sistema

Con base en las dimensiones del tanque, se estima que se requerirá de un área de dos metros cuadrados en el área de calderas para la instalación del depósito de condensado y la bomba de agua, pues la bomba eléctrica de condensado será instalada en las afueras del área de galvanizado, después de la última trampa del sistema de vapor.

3.8. Diseño del sistema de recuperación de condensado

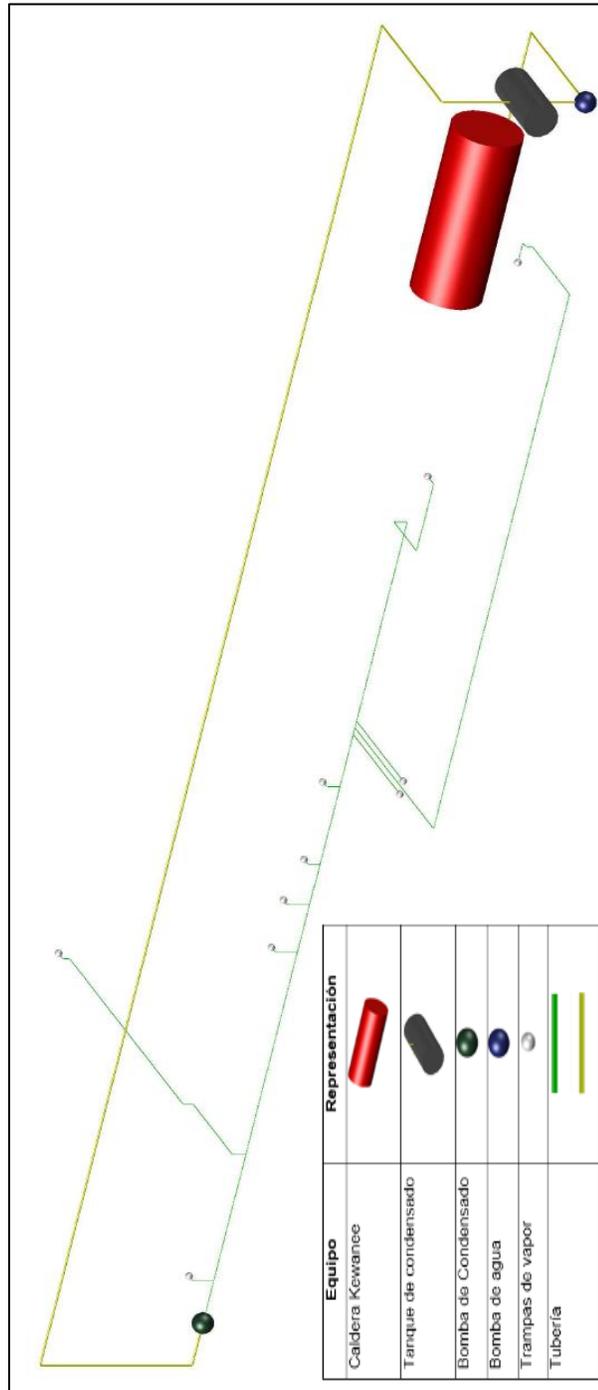
La primera parte del diseño del sistema consiste en realizar su esquema, con base en la ubicación de las diez trampas de vapor y caldera Kewanee, la ubicación de la bomba de condensado, tanque, bomba de agua, tuberías y accesorios a emplear, quedando el sistema de la siguiente forma:

Figura 45. Sistema de recuperación de condensado 1



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 46. Sistema de recuperación de condensado 2



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

La segunda parte del diseño consiste en determinar la capacidad y dimensiones del tanque de condensado, con base en la potencia (150 HP) y tiempo de operación a máxima capacidad (20 minutos) de la caldera, sabiendo que 1 HP convierte 34,5 libras de agua en vapor por hora y que un galón de condensado posee 7,78 libras de masa. Empleado posteriormente estos datos en la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen} = \text{potencia (BHP)} * 34,5 \left(\frac{\text{lb}_{\text{agua}}}{\text{h}} \right) * \left(\frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \right) * \left(\frac{1 \text{ gal}}{7,78 \text{ lb}} \right) * (\text{t min})$$

$$\text{Volumen} = (150)(34,5) \left(\frac{1}{60} \right) \left(\frac{1}{7,78} \right) (20) = 221,72 \text{ galones}$$

$$\text{Volumen} = (1,3)(221,72) = 288,24 \text{ galones}$$

$$288,24 \text{ galones} * \frac{3,785 \text{ l}}{1 \text{ galón}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} = 1,09 \text{ m}^3$$

$$\text{Relación de las dimensiones de tanque de condensado} = \frac{\text{longitud}}{\phi} = 1,5$$

$$\text{longitud} = 1,5\phi$$

$$\text{Volumen} = \frac{\pi}{4} * \phi^2 * \text{longitud} = \frac{\pi}{4} \phi^2 (1,5\phi) = \frac{1,5\pi}{4} \phi^3$$

$$\phi = \sqrt[3]{\frac{(\text{volumen})(4)}{1,5 \pi}}$$

$$\phi = \sqrt[3]{\frac{(1,09)(4)}{1,5 \pi}} = 0,97 \text{ m}$$

$$\text{longitud} = 1,5\phi = (0,97)(1,5) = 1,46 \text{ m}$$

Luego de efectuados los cálculos, se tiene que el tanque debe poseer una capacidad para almacenar 221,72 galones de condensado, lo cual representa el 70 % del volumen del depósito. El restante 30 % será de vacío para contener el vapor *flash* generado por el condensado, el diámetro y longitud del recipiente

serán de 0,97 y 1,46 metros respectivamente, los cuales fueron determinados con base en el volumen total del tanque y la relación de dimensiones deseada entre estas partes.

La tercera parte del diseño consiste en determinar el diámetro de las tuberías del sistema, empleando la gráfica de la figura 43. Esta posee cuatro partes, el eje vertical inferior izquierdo en el cual se localizan las presiones del sistema de vapor, el eje vertical inferior derecho en el cual se localizan las presiones del sistema de condensado, el eje vertical superior izquierdo en el cual se localizan los diferentes flujos máxicos de condensado que circularan por la tubería y el eje vertical superior derecho en el cual se localizan los diferentes diámetros de tubería que se podrían utilizar.

El diámetro de la tubería que conducirá al condensado de la trampa de vapor número cuatro al tanque, fue determinado mediante los siguientes pasos:

- Localizar en el eje vertical inferior izquierdo la presión del sistema de vapor (8,62 Bar).
- Trazar una recta horizontal de este punto hasta aquel en donde esta recta intersecta la curva de presión a la cual se encontrará el sistema de condensado (1,01 Bar).
- Trazar una recta vertical ascendente hasta el punto donde se intersecte con la recta horizontal proveniente del eje vertical superior izquierdo que representa el flujo máxico de condensado que circulará por el tramo analizado (802,45 kg/h).
- Trazar una recta inclinada hacia la derecha, paralela a las rectas de diámetro que posee este gráfico hasta que esta toque el eje vertical superior derecho, donde finalmente se obtendrá el diámetro que se le debe asignar a la tubería de condensado analizada (36 mm).

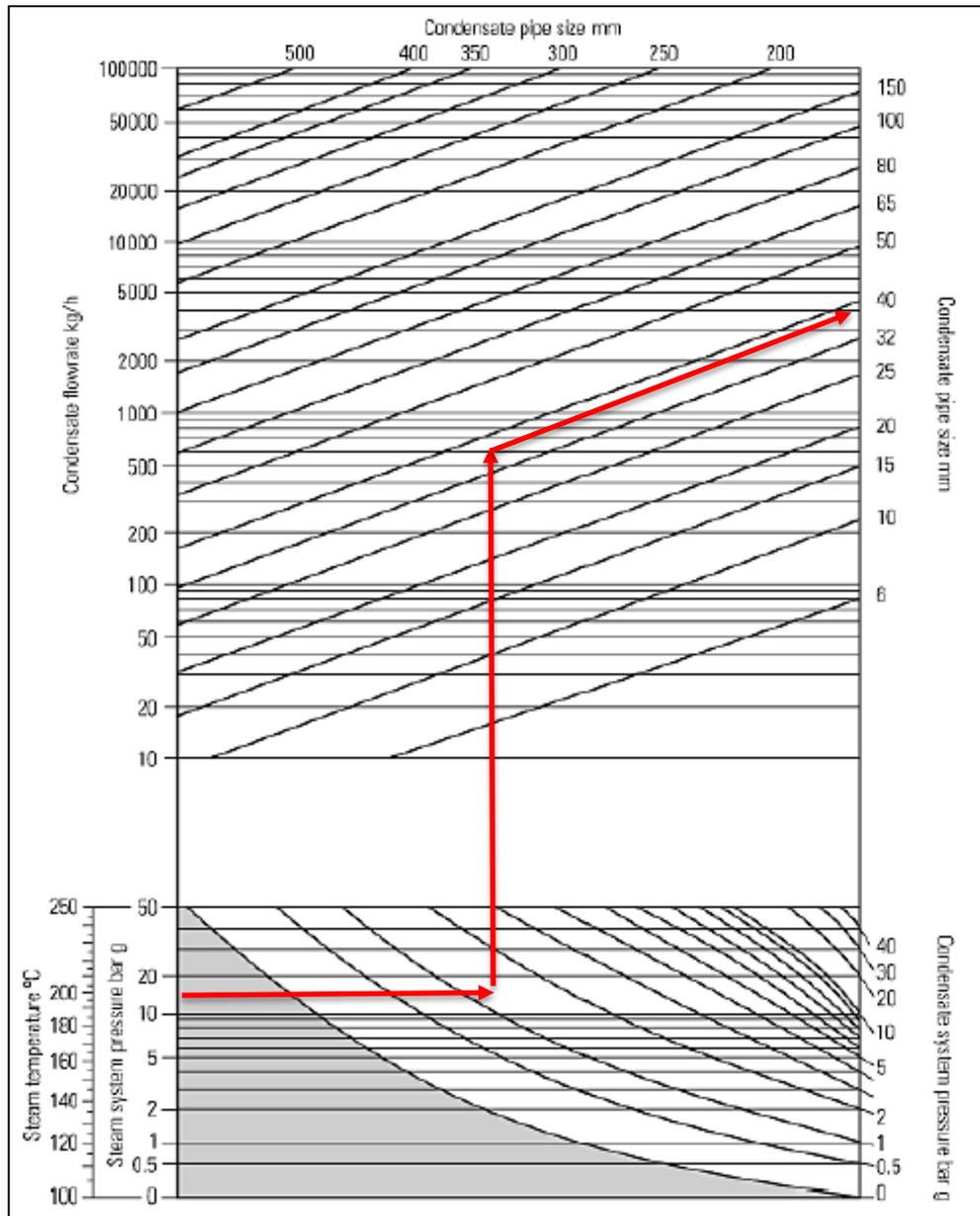
En la figura 43 se aprecian las rectas de color rojo que representan el procedimiento descrito con anterioridad, utilizado para determinar el diámetro de los demás tramos de tubería, los cuales se describen en la tabla XVI.

$$P_{\text{Sistema de vapor}} = 125 \text{ PSI} * \frac{6\,895 \text{ Pa}}{1 \text{ PSI}} * \frac{1 \text{ Bar}}{100\,000 \text{ Pa}} = 8,62 \text{ Bar}$$

$$P_{\text{Sistema de condensado}} = 14,7 \text{ PSI} * \frac{6\,895 \text{ Pa}}{1 \text{ PSI}} * \frac{1 \text{ Bar}}{100\,000 \text{ Pa}} = 1,01 \text{ Bar}$$

$$\dot{m}_{\text{Entre la trampa núm. 4 y el tanque de condensado}} = 331,20 \frac{\text{lb}}{\text{h}} * 2,2 \frac{\text{Kg}}{1\text{lb}} = 728,64 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Figura 47. **Gráfica para determinar el diámetro de tuberías de condensado**



Fuente: Spirax sarco. www2.spiraxsarco.com/mx/products-services. Consulta: junio de 2015.

Tabla XVII. Diámetros de las tuberías de condensado

Tubería	Flujo másico (Lbfh)	Flujo másico (kgfh)	Presión del sistema de vapor (Bar)	Presión del sistema de condensado (Bar)	Diámetro de tubería (mm)	Diámetro de la tubería (in)	Diámetro real de la tubería (in)
Trampa de vapor núm. 1	97,01	213,43	8,62	1,01	21	0,83	1
Trampa de vapor núm. 2	78,88	173,54	8,62	1,01	20	0,79	1
Trampa de vapor núm. 3	63,75	140,24	8,62	1,01	18	0,71	3/4
Trampa de vapor núm. 4	13,69	30,12	8,62	1,01	8	0,31	1/2
Trampa de vapor núm. 5	20,28	44,61	8,62	1,01	9	0,35	1/2
Trampa de vapor núm. 6	22,90	50,38	8,62	1,01	10	0,39	1/2
Trampa de vapor núm. 7	10,46	23,01	8,62	1,01	7	0,28	1/2
Trampa de vapor núm. 8	38,50	84,70	8,62	1,01	14	0,55	1/2
Trampa de vapor núm. 9	5,12	11,26	8,62	1,01	6	0,24	1/2
Trampa de vapor núm. 10	14,16	31,16	8,62	1,01	8	0,31	1/2
Entre la trampa núm. 1 y 5	102,13	224,68	8,62	1,01	21	0,83	1
Entre la trampa núm. 5 y 2	122,41	269,29	8,62	1,01	22	0,87	1
Entre la trampa núm. 2 y 10	201,29	442,84	8,62	1,01	29	1,14	1 1/2
Entre la trampa núm. 10 y 3	215,46	474,00	8,62	1,01	30	1,18	1 1/2
Entre la trampa núm. 3 y 7	279,20	614,25	8,62	1,01	31	1,22	1 1/2
Entre la trampa núm. 7 y 6	289,66	637,25	8,62	1,01	32	1,26	1 1/2
Entre la trampa núm. 6 y 8	312,56	687,63	8,62	1,01	34	1,34	1 1/2
Entre la trampa núm. 8 y 4	351,06	772,33	8,62	1,01	35	1,38	1 1/2
Entre la trampa núm. 4 y el tanque de condensado	364,75	802,45	8,62	1,01	36	1,42	1 1/2

Fuente: elaboración propia.

Para la instalación del sistema, se emplearán las tuberías con los diámetros reales determinados en la tabla anterior, puesto que los diámetros nominales determinados mediante la gráfica 43 no existen de forma comercial en el mercado.

La cuarta parte del diseño consiste en determinar la carga requerida por la bomba de condensado y bomba de agua, para enviar el fluido de la línea de recuperación al tanque y de este a la caldera Kewanee para su reutilización.

Para ello se empleó la ecuación general de la energía, la cual indica la energía total (potencial, cinética y de presión) que posee un fluido en un punto inicial y uno final, luego de haber adquirido cierta cantidad de energía por un elemento mecánico (bomba) o haberla perdido debido a su ingreso y egreso del tanque de almacenamiento, accesorios y fricción existente con la tubería.

Ecuación general de la energía:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + H_B = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_f + h_{\text{accesorios}} + h_L$$

Donde

Z_1 = energía potencial en el punto 1, en metros

Z_2 = energía potencial en el punto 2, en metros

P_1 = presión en el punto 1, en kilopascal por metro cuadrado

P_2 = presión en el punto 2, en kilopascal por metro cuadrado

v_1 = velocidad en el punto 1, en metro por segundo

v_2 = velocidad en el punto 2, en metro por segundo

H_B = carga de la bomba, en metros

h_f = pérdidas de carga por fricción, en metros

$h_{\text{accesorios}}$ = pérdidas de carga por accesorios, en metros

h_L = pérdida de carga por entrada o salida del depósito, en metros

g = gravedad (9,81 en metros)

La pérdida de carga que sufre el fluido al ingresar al tanque se debe a que su velocidad disminuye aproximadamente hasta cero, lo que provoca que la energía cinética se disipe.

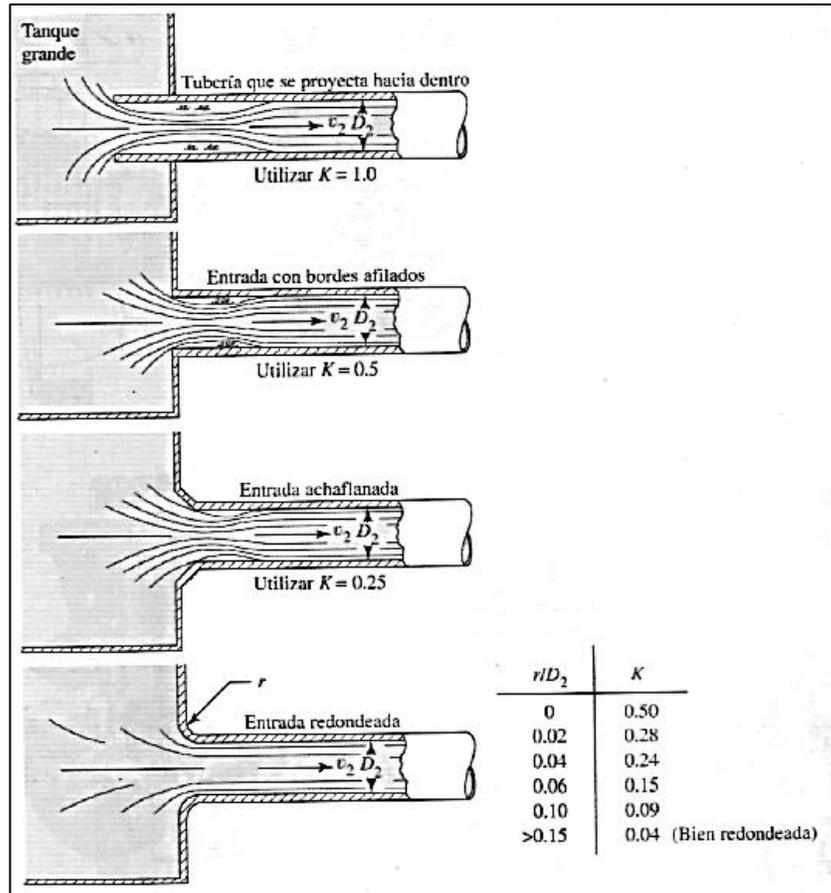
$$h_L = \frac{v^2}{2g}$$

La pérdida de carga que sufre el fluido a la salida del tanque se debe a la aceleración que este sufre, de una velocidad despreciable hasta la velocidad en la tubería, dependiendo de la facilidad con la que se realiza la aceleración así será la pérdida de carga que sufra.

$$h_L = K \frac{v^2}{2g}$$

K es un factor que varía según la forma en la que se conecta la tubería al tanque, en este caso es un borde cuadrado siendo por ello $K=0,5$.

Figura 48. Coeficientes de resistencia



Fuente: MOTT, Robert. *Mecánica de fluidos aplicada*. p. 293.

Para determinar las pérdidas de carga por fricción y accesorios, primero se debe determinar el número de Reynolds, para conocer si el flujo con el que se está trabajando es laminar, turbulento o se encuentra en transición.

Si el número de Reynolds es menor que 2 000 el flujo es laminar; si es mayor a 4 000, el flujo es turbulento y si se encuentra entre estos dos valores, el flujo está en transición, es decir, está pasando de laminar a turbulento o viceversa.

$$N_R = \frac{v\phi}{\nu}$$

Donde

N_R = número de Reynolds

v = velocidad, en metros por segundo

ϕ = diámetro de la tubería, en metros

ν = viscosidad cinemática, en metros cuadrados por segundo

Luego se procede a determinar el factor de fricción, empleando para ello las siguientes ecuaciones, dependiendo del tipo de flujo con el que se está trabajando.

$$f = \frac{64}{N_R} \text{ (flujo laminar)}$$

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\epsilon/\phi}{3,7} + \frac{5,74}{N_R^{0,9}} \right) \right]^2} \text{ (flujo turbulento)}$$

Donde:

f = factor de fricción

ϵ = rugosidad de la tubería, en metros

ϕ = diámetro de la tubería, en metros

N_R = número de Reynolds

Con los datos del tipo, número y diámetro de los accesorios a emplear en el tramo de tubería analizado, se procede a determinar la longitud equivalente y total, utilizando para ello la figura 45.

Figura 49. Pérdidas locales en los diferentes accesorios

Diámetro D mm pulg	Codo 90°										Válvula tipo globo abierta									
	radio largo	radio medio	radio corto	45°	90°	45°	normal	Entrada de brida	Válvula de compuerta abierta	Entrada de brida	Válvula de compuerta abierta	ángulo asena	directo	lateral	bilateral	pe	Salida de tubería	Válvula de retención liviana	Válvula de retención pesada	
13	1/2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	2,6	0,3	1,0	1,0	3,6	0,4	1,1	1,6	
19	3/4	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,2	0,2	0,5	0,1	6,7	3,6	0,4	1,4	1,4	5,6	0,5	1,6	2,4	
25	1	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,2	0,3	0,7	0,2	8,2	4,6	0,5	1,7	1,7	7,3	0,7	2,1	3,2	
32	1 1/4	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,3	0,4	0,9	0,2	11,3	5,6	0,7	2,3	2,3	10,0	0,9	2,7	4,0	
38	1 1/2	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	0,3	0,5	1,0	0,3	13,4	6,7	0,9	2,8	2,8	11,6	1,0	3,2	4,8	
50	2	1,1	1,4	1,7	0,8	0,6	0,4	0,7	1,5	0,4	17,4	8,5	1,1	3,5	3,5	14,0	1,5	4,2	6,4	
63	2 1/4	1,3	1,7	2,0	0,9	0,8	0,5	0,9	1,9	0,4	21,0	10,0	1,3	4,3	4,3	17,0	1,9	5,2	8,1	
75	3	1,6	2,1	2,5	1,2	1,0	0,6	1,1	2,2	0,5	26,0	13,0	1,6	5,2	5,2	20,0	2,2	6,3	9,7	
100	4	2,1	2,8	3,4	1,5	1,3	0,7	1,6	3,2	0,7	34,0	17,0	2,1	6,7	6,7	23,0	3,2	6,4	12,9	
125	5	2,7	3,7	4,2	1,9	1,6	0,9	2,0	4,0	0,9	43,0	21,0	2,7	8,4	8,4	30,0	4,0	10,4	16,1	
150	6	3,4	4,3	4,9	2,3	1,9	1,1	2,5	5,0	1,1	51,0	26,0	3,4	10,0	10,0	39,0	5,0	12,5	19,3	
200	8	4,3	5,5	6,4	3,0	2,4	1,5	3,5	6,0	1,4	67,0	34,0	4,3	13,0	13,0	52,0	6,0	16,0	25,0	
250	10	5,5	6,7	7,9	3,8	3,0	1,8	4,5	7,5	1,7	85,0	43,0	5,5	16,0	16,0	65,0	7,5	20,0	32,0	
300	12	6,1	7,9	9,5	4,6	3,6	2,2	5,5	9,0	2,1	102,0	51,0	6,1	19,0	19,0	78,0	9,0	24,0	38,0	
350	14	7,3	9,5	10,5	5,3	4,4	2,5	6,2	11,0	2,4	120,0	60,0	7,3	22,0	22,0	90,0	11,0	28,0	45,0	

Fuente: DE AZEVEDO, J.M. *Manual de hidráulica*, p. 75.

Por último, se determinan pérdidas de carga por fricción y accesorios mediante la ecuación de Darcy.

$$h_f = f \frac{l}{\phi} \frac{v^2}{2g}$$

Donde

f= factor de fricción

φ= diámetro de la tubería, en metros

l= longitud de la tubería más longitud equivalente de los accesorios, en metros

v= velocidad, en metros por segundo

g= gravedad (9,81, en metros por segundo cuadrado)

La viscosidad cinemática y el peso específico del agua fueron determinados por medio de tablas de propiedades del agua a una temperatura de 100 °C, pues es la máxima temperatura bajo la cual pueden trabajar los sistemas de recuperación de condensado abiertos a la atmósfera.

La rugosidad de la tubería fue determinado mediante la tabla de la figura 46, al conocer que se emplearán tuberías de acero para la instalación del sistema.

Figura 50. **Valores de diseño de la rugosidad de tubos**

Material	Rugosidad ϵ (m)	Rugosidad ϵ (pie)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Tubo extruido; cobre, latón y acero	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Acero, comercial o soldado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Hierro galvanizado	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Hierro dúctil, recubierto	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Hierro dúctil, no recubierto	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Concreto, bien fabricado	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}

Fuente: DE AZEVEDO J.M. *Manual de hidráulica*, p. 235.

- Cálculos
 - Pérdida de carga en el tramo de tubería del tanque a la caldera.

Datos

$$Q = 6,31 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\varnothing = 0,0254 \text{ m}$$

$$\nu = 0,294 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\epsilon = 4,6 \times 10^{-6} \text{ (m)}$$

$$l_{\text{tubería}} = 7,3 \text{ m}$$

Núm. de té = 1

Núm. de codos de 90° de radio medio = 3

Núm. de válvulas de compuerta = 1

Núm. de válvulas de retención = 1

Longitud equivalente té de 1"= 1,7 m

Longitud equivalente codo de 90° de radio medio 1"= 0,7 m

Longitud equivalente válvula de compuerta 1"= 0,2 m

Longitud equivalente válvula de retención 1"= 3,2 m

- Número de Reynolds

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{6,31 \cdot 10^{-4}}{\left(\frac{\pi}{4}\right) (0,0254)^2} = 1,24 \text{ m/s}$$

$$N_R = \frac{V\phi}{\nu} = \frac{(1,24)(0,0254)}{0,294 \cdot 10^{-6}} = 10\,755,82 \text{ (flujo turbulento)}$$

- Coeficiente de fricción

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\epsilon/\phi}{3,7} + \frac{5,74}{N_R^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = \frac{0,25}{\left(\log \left(\frac{(4,6 \cdot 10^{-6}/0,0254)}{3,7} + \frac{5,74}{(10\,755,82)^{0,9}} \right) \right)^2} = 0,033$$

- Longitud equivalente por accesorios y total

$$l_{\text{equivalente accesorios}} = (1 \cdot 1,7) + (3 \cdot 0,7) + (1 \cdot 0,2) + (1 \cdot 3,2) = 7,2 \text{ m}$$

$$l_{\text{total}} = l_{\text{tubería}} + l_{\text{accesorios}}$$

$$l_{\text{total}} = 7,2 + 7,3 = 14,5 \text{ m}$$

- Pérdidas por fricción

$$h_f = f \frac{l}{\phi} \frac{v^2}{2g} = (0,033) \frac{(14,5)}{(0,0254)} \frac{(1,24)^2}{(2*9,81)} = 1,51 \text{ m}$$

- Pérdida de carga en el tramo de tubería de la trampa número uno a la tubería común de recuperación.

Datos

$$Q = 1,32 * 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\phi = 0,0254 \text{ m}$$

$$v = 0,294 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$l_{\text{tubería}} = 3,1 \text{ m}$$

$$\text{Núm. de válvulas de compuerta} = 2$$

$$\text{Núm. de válvulas de retención} = 1$$

$$\text{Longitud equivalente válvula de compuerta } 1" = 0,2 \text{ m}$$

$$\text{Longitud equivalente válvula de retención } 1" = 3,2 \text{ m}$$

- Número de Reynolds

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1,32 * 10^{-5}}{\left(\frac{\pi}{4}\right) (0,0254)^2} = 2,61 * 10^{-2} \text{ m/s}$$

$$N_R = \frac{V\phi}{u} = \frac{(2,61 * 10^{-2})(0,0254)}{0,294 * 10^{-6}} = 225,87 \text{ (flujo laminar)}$$

- Factor de fricción

$$f = \frac{64}{N_R} = \frac{64}{225,87} = 0,2833$$

- Longitud equivalente por accesorios y longitud total

$$l_{\text{equivalente accesorios}} = (2*0,2) + (1*3,2) = 3,6 \text{ m}$$

$$l_{\text{total}} = l_{\text{tubería}} + l_{\text{accesorios}}$$

$$l_{\text{total}} = 3,1 + 3,6 = 6,7 \text{ m}$$

- Pérdida por fricción

$$h_f = f \frac{l}{\phi} \frac{v^2}{2g} = (0,2833) \frac{(6,7)}{(0,0254)} \frac{(2,61 \cdot 10^{-2})^2}{(2 \cdot 9,81)} = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

La pérdida de carga en las demás tuberías de recuperación de condensado, fueron determinadas de igual forma que el tramo analizado con anterioridad, puesto que su flujo es laminar. En la tabla XVII se presentan los resultados obtenidos.

Tabla XVIII.

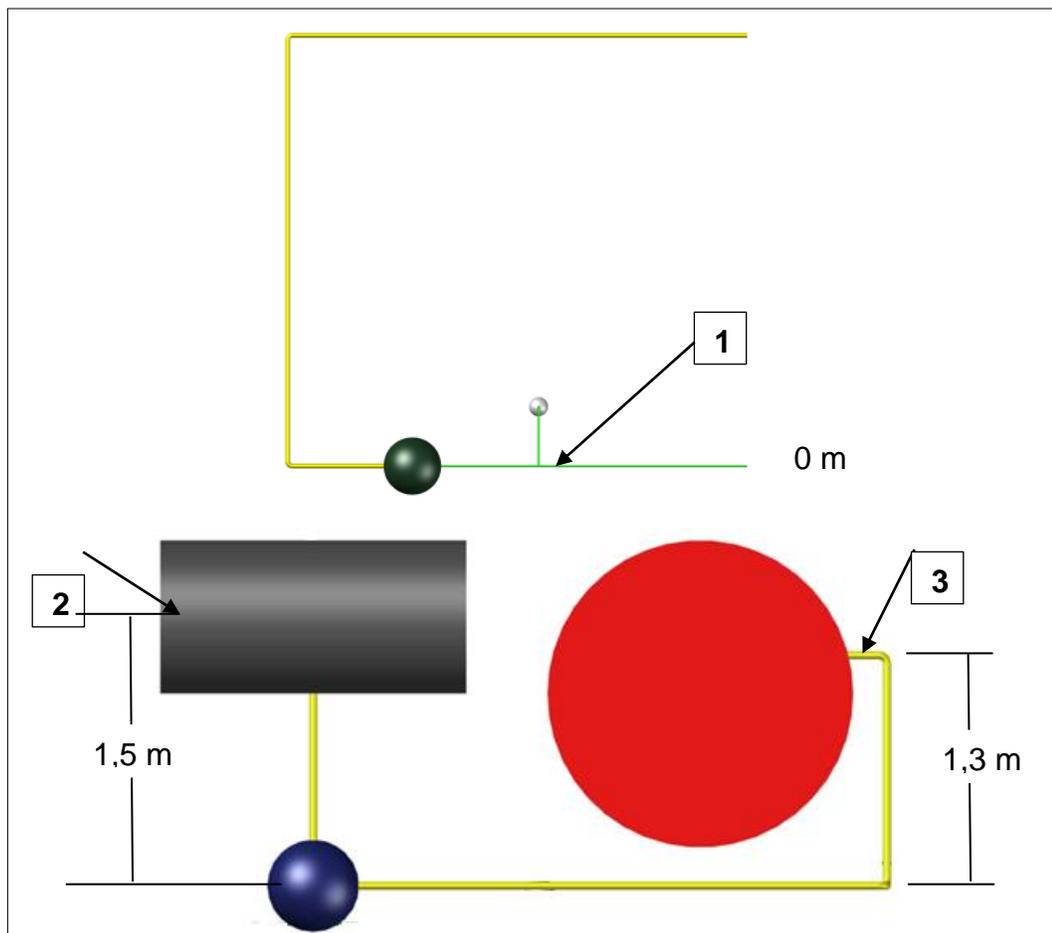
Pérdidas de carga por fricción y accesorios

Tubería	Longitud (m)	núm. de Tés	núm. de codos de 90° de radio medio	núm. de válvulas de compuerta	núm. de válvulas de retención	Longitud equivalente total de accesorios (m)	Longitud total (m)	Diámetro (m)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	viscosidad cinemática (m ² /s)	Numero de Reynolds	Pérdida total de carga (m)
Trampa de vapor núm.1	3,1	0	0	2	1	3,6	6,7	0,0254	1,32E-05	2,61E-02	2,94E-06	225,87	2,60E-03
Trampa de vapor núm.2	3,1	0	0	2	1	3,6	6,7	0,0254	1,07E-05	2,12E-02	2,94E-06	182,85	2,11E-03
Trampa de vapor núm.3	0,4	0	1	2	1	3,2	3,6	0,0191	8,83E-06	3,10E-02	2,94E-06	200,78	2,95E-03
Trampa de vapor núm.4	0,62	0	1	2	1	2,2	2,82	0,0127	1,89E-06	1,49E-02	2,94E-06	64,53	2,51E-03
Trampa de vapor núm.5	22,74	0	5	2	1	3,8	26,54	0,0127	2,52E-06	1,99E-02	2,94E-06	86,05	3,14E-02
Trampa de vapor No.6	0,66	0	1	2	1	2,2	2,86	0,0127	3,15E-06	2,49E-02	2,94E-06	107,56	4,23E-03
Trampa de vapor No.7	0,66	0	1	2	1	2,2	2,86	0,0127	1,26E-06	9,96E-03	2,94E-06	43,02	1,69E-03
Trampa de vapor No.8	11	0	5	2	1	3,8	14,8	0,0127	5,17E-06	4,08E-02	2,94E-06	176,40	3,59E-02
Trampa de vapor núm.9	10,31	0	4	2	1	3,4	13,71	0,0127	6,31E-07	4,98E-03	2,94E-06	21,51	4,06E-03
Trampa de vapor núm.10	0,4	0	1	2	1	2,2	2,6	0,0127	1,89E-06	1,49E-02	2,94E-06	64,53	2,31E-03
Entre la trampa núm.1 y 5	0,2	1	0	0	0	1,7	1,9	0,0254	1,39E-05	2,74E-02	2,94E-06	236,63	7,74E-04
Entre la trampa núm.5 y 2	0,2	1	0	0	0	1,7	1,9	0,0254	1,64E-05	3,24E-02	2,94E-06	279,65	9,14E-04
Entre la trampa núm.2 y 11	1,7	1	0	0	0	2,3	4	0,0381	2,71E-05	2,38E-02	2,94E-06	308,33	6,29E-04
Entre la trampa núm.3 y 7	2,37	1	0	0	0	2,3	4,67	0,0381	2,90E-05	2,55E-02	2,94E-06	379,85	7,85E-04
Entre la trampa núm.7 y 6	1,24	1	0	0	0	2,3	3,54	0,0381	3,79E-05	3,32E-02	2,94E-06	430,23	7,76E-04
Entre la trampa núm.7 y 6	1,45	1	0	0	0	2,3	3,75	0,0381	3,91E-05	3,43E-02	2,94E-06	444,57	8,50E-04
Entre la trampa núm.5 y 8	6,19	1	0	0	0	2,3	8,49	0,0381	4,23E-05	3,71E-02	2,94E-06	480,43	2,08E-03
Entre la trampa núm.8 y 4	3,86	1	0	0	0	2,3	6,16	0,0381	4,74E-05	4,16E-02	2,94E-06	539,23	1,69E-03
Entre la trampa núm.4 y la bomba de condensado	1	2	0	1	1	8,8	9,8	0,0381	4,93E-05	4,33E-02	2,94E-06	560,74	2,80E-03
De la bomba al tanque de condensado	51,63	0	4	1	1	7,8	59,43	0,0381	4,93E-05	4,33E-02	2,94E-06	560,74	1,70E-02
												Total	0,1181

Fuente: elaboración propia.

Para el análisis del sistema por medio de la ecuación de la energía, se tomará como punto número uno la unión entre la tubería de la trampa número ocho y la de recuperación, que es donde terminan las captaciones de condensado. Como punto número dos, la descarga del fluido en el tanque de almacenamiento y como punto número tres, la entrada del condensado a la línea de alimentación de la caldera Kewanee.

Figura 51. **Puntos de referencia en el sistema**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

La carga de la bomba de condensado fue determinada realizando el análisis del punto uno al dos, tomando como nivel de referencia el punto uno, en donde la energía potencial y presión son iguales a cero debido a que el condensado ingresa a la línea de recuperación a una presión despreciable. En el punto número dos debido a que el tanque se encuentra abierto a la atmósfera, la presión será igual a cero, por lo tanto:

Punto 1	Punto 2
$Z_1 = 0 \text{ m}$	$Z_2 = 1,5 \text{ m}$
$P_1 = 0 \text{ Kpa}$	$P_2 = 0 \text{ Kpa}$
$v_1 = 0,043 \text{ m/s}$	$v_2 = 0,043 \text{ m/s}$
$Q = 4,93 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$	$Q = 4,93 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$
$\phi = 1,5 \text{ pulgadas} = 0,0381 \text{ m}$	$\phi = 1,5 \text{ pulgadas} = 0,0381$
$\gamma_{100^\circ\text{C}} = 9,399 \text{ Kpa/m}$	
$g = 9,81 \text{ m/s}^2$	
$H_B = ?$	
$h_f + h_{\text{accesorios}} = 0,1181 \text{ m}$	

$$Q = A_1 V_1$$

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{4,93 \cdot 10^{-5}}{\frac{\pi}{4} (0,0381)^2} = 0,043 \text{ m/s}$$

Ecuación general de la energía:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + H_B = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_f + h_{\text{accesorios}} + h_L$$

$$H_B = Z_2 + h_f + h_{\text{accesorio}} + h_L$$

$$H_B = 1,5 + 0,1181 + \frac{(0,043)^2}{2(9,81)}$$

$$H_B = 1,62 \text{ m}$$

Para establecer la carga requerida por la bomba de agua, se realizó el análisis del punto dos al tres, tomando como referencia el punto número dos se tiene:

Punto 2	Punto 3
$Z_2 = 1,5 \text{ m}$	$Z_3 = 1,2 \text{ m}$
$P_2 = 0 \text{ Kpa}$	$P_3 = 827,4 \text{ Kpa}$
$v_2 = 0 \text{ m/s}$	$v_3 = 1,5 \text{ m/s}$
$Q = 6,31 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$	$Q = 6,31 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$
$\phi = 0,0254 \text{ m}$	$\phi = 0,0254 \text{ m}$
$\gamma_{100 \text{ }^\circ\text{C}} = 9,399 \text{ Kpa/m}$	
$g = 9,81 \text{ m/s}^2$	
$H_B = ?$	
$h_f + h_{\text{accesorios}} = 1,5070 \text{ m}$	

Se desea que la bomba de agua suministre un caudal de 10 galones por minuto a una velocidad de 1,5 m/s, por lo tanto:

$$Q = 10 \frac{\text{galones}}{\text{min}} * \frac{3,785 \text{ litros}}{1 \text{ galón}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ litros}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 6,31 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = A_2 V_2$$

$$A_2 = \frac{Q}{V_2}$$

$$\frac{\pi}{4} \phi^2 = \frac{Q}{V_2}$$

$$\phi = \sqrt[2]{\frac{4Q}{\pi V_2}} = \sqrt[2]{\frac{4(6,31 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s})}{\pi(1,5)}} = 0,0231 \text{ m} \approx 0,0254 \text{ m}$$

Ecuación general de la energía:

$$Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + H_B = Z_3 + \frac{P_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g} + h_f + h_{\text{accesorios}} + h_L$$

$$H_B = Z_3 + \frac{P_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g} + h_f + h_{\text{accesorios}} + h_L$$

$$H_B = -0,3 \text{ m} + \frac{827,4}{9,399} + \frac{(1,5)^2}{2(9,81)} + 1,5070 + 0,5 \frac{(1,5)^2}{2(9,81)}$$

$$H_B = 89,40 \text{ m}$$

La carga mínima requerida por la bomba de condensado y bomba de agua es 1,62 m y 89,40 m respectivamente, estas representan la cantidad de energía que se debe suministrar al fluido para desplazarlo hasta los puntos deseados y vencer las pérdidas por fricción y accesorios que se generaran en el sistema, este parámetro se empleará posteriormente para seleccionar los equipos que se utilizarán.

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

Consistirá en la selección y descripción de los equipos e instrumentos, aislante térmico, número y tipo de accesorios, personal a utilizar y el costo de implementar y mantener el sistema de recuperación de condensado. Se elaborará un pequeño programa de mantenimiento preventivo para cada uno de los equipos, se determinarán los beneficios del proyecto y si el mismo debe implementarse o no mediante el uso del VAN y la TIR como criterios de aprobación.

4.1. Bomba de condensado

Se empleará una bomba eléctrica Watson McDaniel W410. Fue seleccionada luego de analizar los distintos equipos disponibles en el mercado, los requerimientos de carga, caudal y presión de 1,62 m, 2,96 l/min y 14,7 PSI a los cuales el fluido será entregado al tanque de condensado y porque este es eliminado del sistema de vapor a una presión despreciable, lo cual imposibilita el uso de una bomba mecánica.

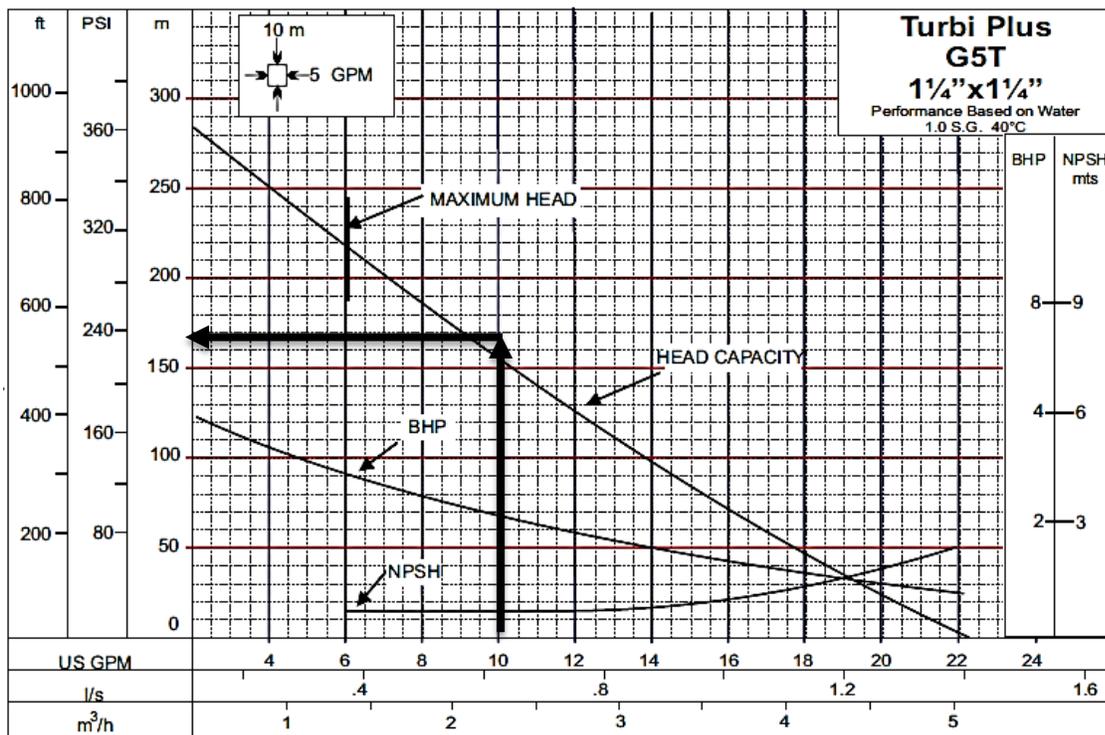
Para la instalación de este equipo se construirá una cimentación de 0,70 m de ancho por 0,65 m de largo, la cual soportará el peso del equipo y estará ubicada a un costado del área de galvanizado, a un metro de distancia de donde se realiza la última descarga de condensado (punto número 1).

También se empleará una bomba de agua Hidromac Turbi Plus G5T. Se seleccionó después de analizar los equipos disponibles por parte de los proveedores de la Empresa de Tubos y su respectiva curva de operación, para

verificar que cumplieran con los requisitos de caudal, carga y presión de 10 gal/min, 89,40 m y 120 PSI necesarios para enviar el condensado del tanque de almacenamiento a la línea de alimentación de la caldera Kewanee. En la figura 48 se aprecia la curva de operación de esta bomba.

Para la instalación de la bomba de agua y su motor se construirá una cimentación de 0,40 m de ancho por 1 m de largo, la cual soportará el peso del equipo y estará ubicada a un costado de la caldera Kewanee, bajo el depósito de condensado.

Figura 52. Curva de operaciones de la bomba de agua



Fuente: Grupo jp calderas. www.grupojpcalderas.com. Consulta: junio de 2015.

4.1.1. Características

Las especificaciones de los equipos seleccionados se describen en las siguientes tablas.

Tabla XIX. **Bomba de agua**

Características	Bomba
Marca	Hidromac
Modelo	Turbi Plus G5T
Presión máxima de trabajo	223 PSI
Caudal	10 galones/ minuto
Carga máxima	157 metros
Potencia del motor	3 HP
Revoluciones por minuto	1 750

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Bomba de condensado**

Características	Bomba
Marca	Watson McDaniel
Modelo	W410
Largo	0,55 m
Ancho	0,60 m
Capacidad del tanque	15 galones
Material del tanque	Acero inoxidable
Presión de descarga	20 PSI
Carga máxima	14,08 metros
Caudal	3 galones/ minuto
Potencia	1/3 HP
Temperatura media de operación	190 °F

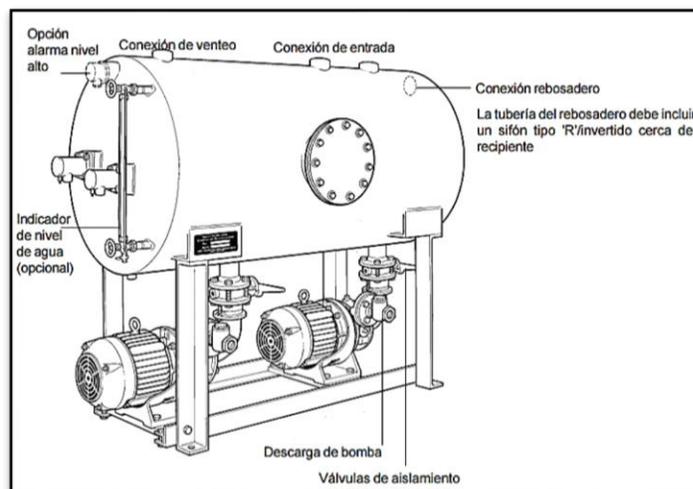
Fuente: elaboración propia.

4.2. Depósito de condensado

Se instalará a un costado de la caldera Kewanee y lo fabricará uno de los trabajadores del taller mecánico. Se utilizarán los siguientes materiales y herramientas:

- 2 láminas negras de 4 ft de ancho por 10 ft de largo de 1/8" de espesor
- 1 angular de 6 metros de largo de 1½" por 1/8" de espesor largo
- 10 lb de electrodo E6013
- 2 galones de pintura verde anticorrosiva
- 1 maquina roladora
- 1 pulidora
- 1 equipo de soldadura eléctrica

Figura 53. Depósito de condensado

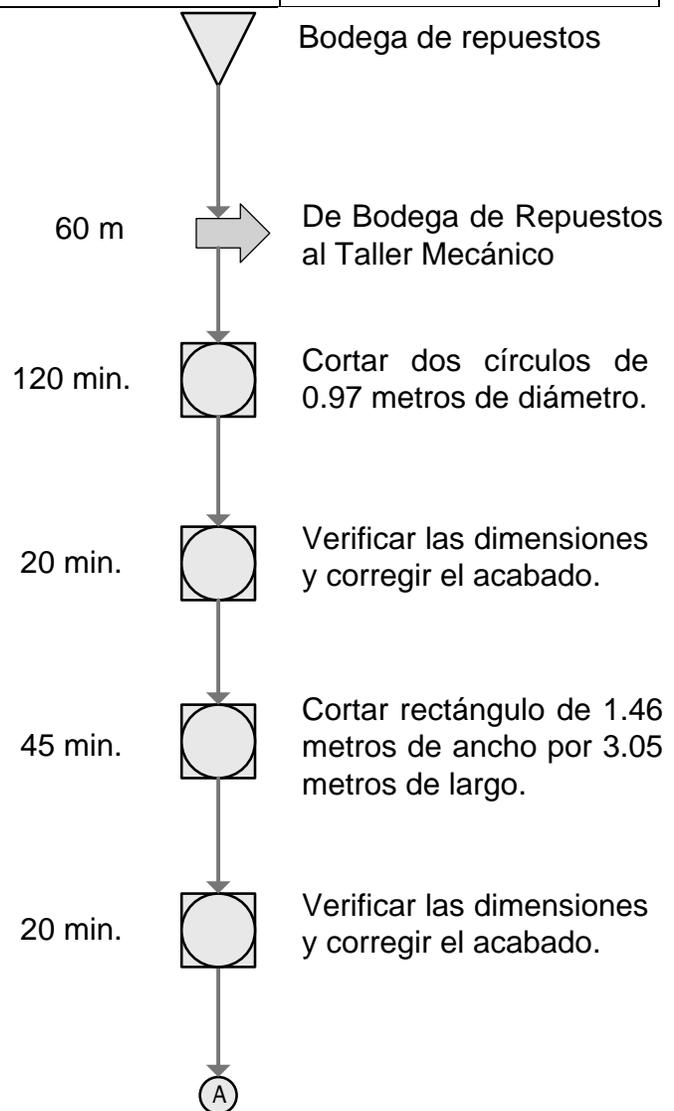


Fuente: Spirax sarco. <http://www2.spiraxsarco.com>. Consulta: junio de 2015.

El proceso de elaboración del depósito de condensado será el siguiente:

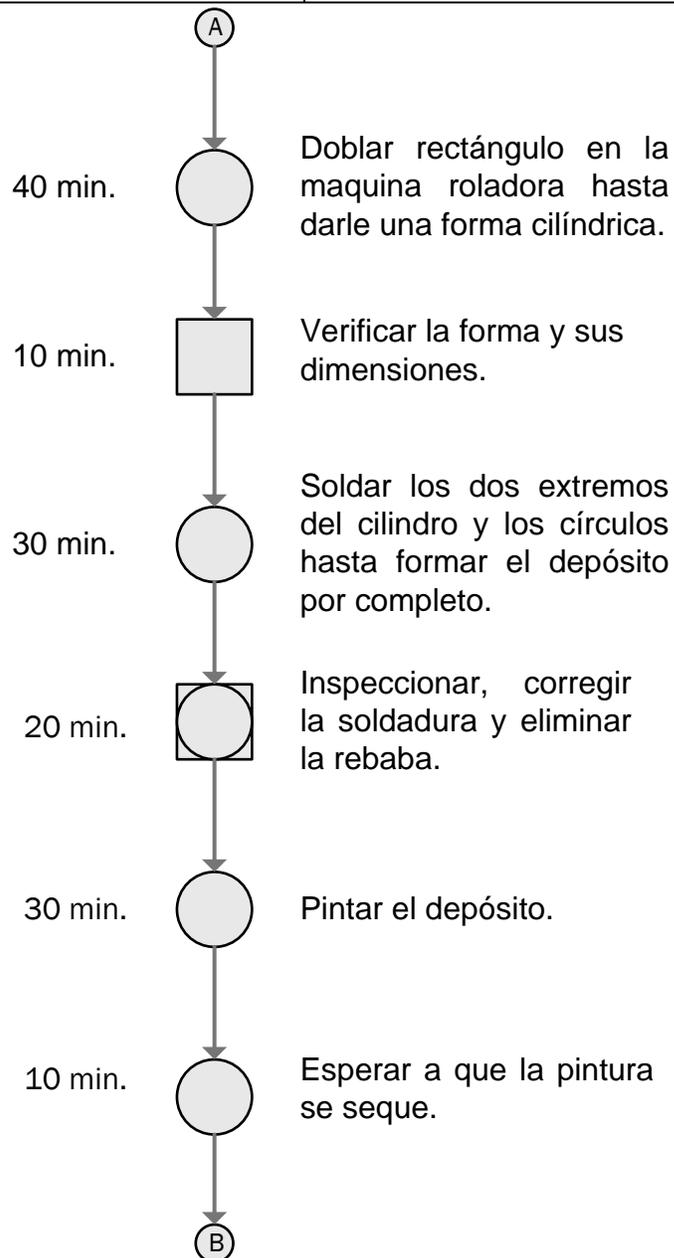
Figura 54. **Diagrama de flujo de operaciones de elaboración del depósito de condensado**

Empresa: Empresa de Tubos	Hoja: 1 de 3
Área: Taller mecánico	Fecha: 14/06/15
Proceso: elaboración del depósito de condensado	Método: actual
Elaborado por: Hugo López	



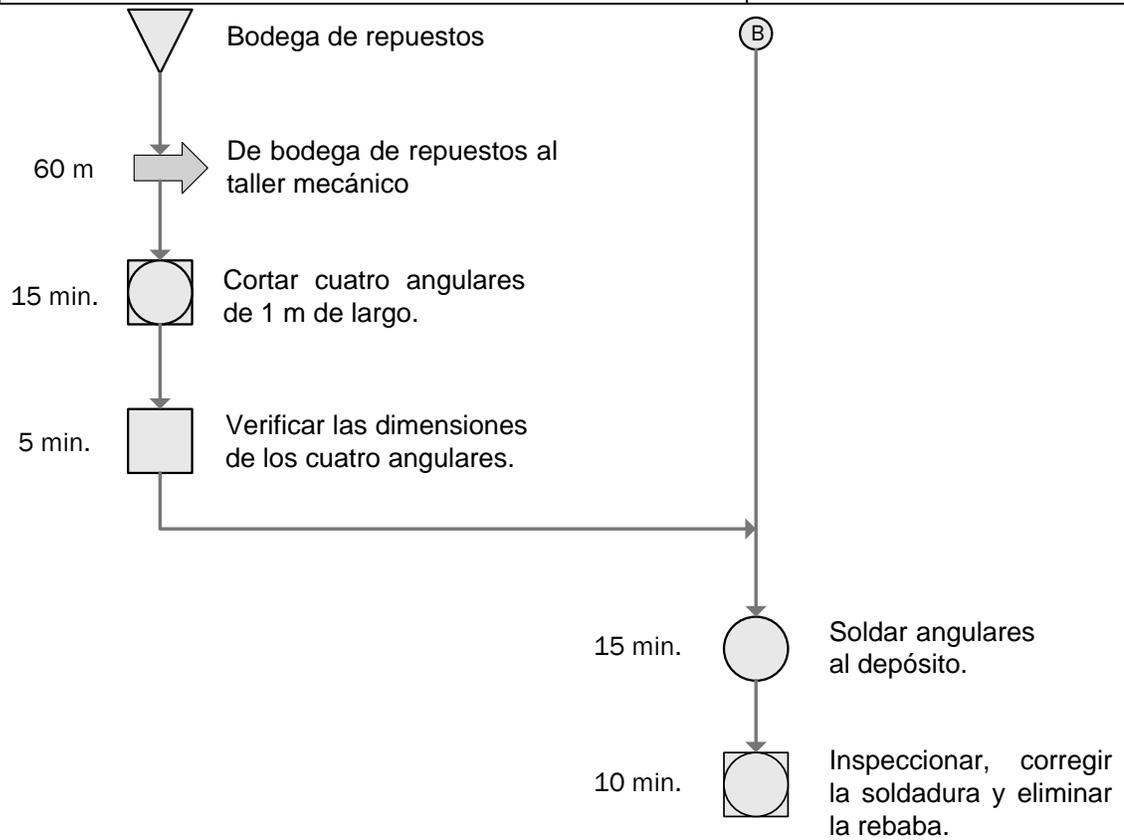
Continuación de la figura 54.

Empresa: La empresa de Tubos	Hoja: 2 de 3
Área: Taller mecánico	Fecha: 14/06/15
Proceso: elaboración de depósito de condensado	Método: actual
Elaborado por: Hugo López	



Continuación de la figura 54.

Empresa: Empresa de Tubos	Hoja: 3 de 3
Área: Taller mecánico	Fecha: 14/06/15
Proceso: elaboración de depósito de condensado	Método: actual
Elaborado por: Hugo López	



Cuadro resumen				
Actividad	Símbolo	Cantidad	Tiempo (min.)	Distancia (m)
Almacenamiento	▽	2	---	---
Transporte	⇒	2	---	120
Operación	○	5	125	---
Inspección	□	2	15	---
Combinadas	◻	7	250	---
Total		18	390	120

Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2010.

4.2.1. Características

Las características del depósito de condensado serán las siguientes.

Tabla XXI. **Depósito de condensado**

Diámetro	0,97 metros
Longitud	1,46 metros
Presión	14,7 PSI
Material	Acero
Color	Verde

Fuente: elaboración propia.

4.3. Accesorios

A continuación se describirán los accesorios que se empleará.

4.3.1. Tuberías

Serán empleadas para conducir el condensado de las líneas de descarga en las trampas de vapor a la línea de alimentación de la caldera Kewanee, el diámetro y cantidad de tubos a emplear se detallan en la tabla XXI, estos fueron determinados con la ayuda del diagrama del sistema y la ubicación que tendrán los equipos (longitud requerida).

Tabla XXII. **Tubería**

Diámetro	Longitud de los tubos (m)	Material	Longitud requerida (m)	Cantidad
1/2"	6	Acero	46,39	8 tubos
3/4"	6	Acero	0,4	1/6 tubo
1"	6	Acero	13,90	3 tubos
1 1/2"	6	Acero	68,20	12 tubos

Fuente: elaboración propia.

Para adaptar el sistema de tuberías a las instalaciones, se emplearán codos de 90° y tés, la cantidad y diámetros requeridos de estos accesorios se observan en la tabla XXIII.

Tabla XXIII. **Accesorios de tubería**

Diámetro	Material	Núm. de codos de 90° de radio medio	Núm. de tés
1/2"	Acero	18	0
3/4"	Acero	1	0
1"	Acero	3	3
1 1/2"	Acero	4	8

Fuente: elaboración propia.

Además, se empleará aislante térmico de fibra mineral de vidrio inorgánica aglutinada con resina y con un recubrimiento de aluminio marca Owens Corning para proteger a la tubería del ambiente y con ello reducir las pérdidas de energía (calor). El rango de protección de este tipo de aislante de tubería va

desde -18 hasta 450 °C. La cantidad de cañuelas, espesor y diámetros requeridos de este aislante se especifican en la tabla XXIV.

Tabla XXIV. **Aislante térmico**

Diámetro	Longitud de la cañuela (m)	Espesor	Longitud requerida (m)	Cantidad
½"	0,914	1"	48	53 cañuelas
¾"	0,914	1"	0,6	1 cañuela
1"	0,914	1"	15	17 cañuelas
1 ½"	0,914	1"	72	80 cañuelas

Fuente: elaboración propia.

4.3.2. Válvulas

Se empelarán válvulas de compuerta para cortar el paso del fluido por las tuberías al momento de ejecutar el mantenimiento respectivo a los equipos, estas fueron seleccionadas por el tipo de aplicación y porque son las que provocan la menor pérdida de energía.

También se usarán válvulas de retención para que el condensado fluya en una sola dirección y no retorne a las líneas de descarga de las trampas de vapor de donde es eliminado. El diámetro, cantidad y tipo de válvulas a utilizar se presentan de forma resumida en la tabla XXV.

Tabla XXV. **Válvulas**

Diámetro	Núm. de válvulas de compuerta	Núm. de válvulas de retención
½"	14	7
¾"	2	1
1"	5	3
1 ½"	2	2

Fuente: elaboración propia.

4.3.3. Medidor de presión

Para medir la presión se emplearán dos manómetros de tubo de Bourdon, uno de los cuales se instalará en la línea de recuperación entre el punto donde se realiza la última descarga (punto número uno) y la bomba eléctrica de condensado. El otro se instalará en la línea de recirculación, entre la bomba de agua y la línea de alimentación de la caldera Kewanee. Las características de los instrumentos a utilizar se describen en la tabla XXVI.

Tabla XXVI. **Manómetros de tubo de Bourdon**

Características	Línea de recuperación	Línea de Retorno
Marca	REOTEMP	REOTEMP
Spam	0-200 PSI	0-200 PSI
Precisión	2-3 % de la escala	2-3 % de la escala
Diámetro de la conexión	1/4"	1/4"
Temperatura de operación	0-150 °F	0-150 °F
Diámetro de la carátula	2,5"	2,5"

Fuente: elaboración propia.

4.3.4. Medidor de temperatura

Se empleará un termómetro bimetálico que será instalado en el depósito de condensado para monitorear la temperatura a la que es entregado y almacenado en este recipiente. Las características de este instrumento se presentan en la tabla XXVII.

Tabla XXVII. **Termómetro bimetálico**

Marca	REOTEMP
Spam	10-150 °C
Error	1 % de la escala
Diámetro de la conexión	½"
Diámetro de la carátula	3"

Fuente: elaboración propia.

También se empleará e instalará un indicador de nivel en el depósito para monitorear el nivel del fluido y activar a la bomba de agua que lo suministrará a la caldera Kewanee. Las características del instrumento seleccionado se aprecian en la tabla XXVIII.

Tabla XXVIII. **Medidor de nivel**

Marca	KOBOLD
Longitud	0,8 m
Spam	0-0,8 m
Error	± 20 mm
Temperatura máxima de operación	120 °C
Corriente de salida del transmisor	4-20 mA
Voltaje del transmisor alimentación	24 V _{DC}

Fuente: elaboración propia.

4.4. Recursos humanos

Para la instalación del sistema de recuperación de condensado se necesitará al siguiente personal.

Tabla XXIX. Recursos humanos

Personal	Actividades
1 mecánico	Encargado de la fabricación e instalación del depósito de condensado, medidores de nivel y temperatura.
1 mecánico	Encargado del montaje e instalación de los equipos en el interior y exterior del área de calderas y galvanizado.
1 mecánico	Encargado de la instalación del sistema de tuberías, medidores de presión y aislamiento térmico.
1 electricista	Encargado de la instalación eléctrica de la bomba de condensado, motor de la bomba de agua y conexiones del medidor de nivel del depósito de condensado.

Fuente: elaboración propia.

4.5. Tiempo de instalación

El tiempo que tomará realizar la elaboración del depósito de condensado, construcción de las cimentaciones, instalación de los equipos, sistema de tuberías, aislante térmico e instrumentos de medición será aproximadamente de once días. Este tiempo se contempló con base en los trabajos que ejecutan diariamente los trabajadores del taller mecánico y eléctrico. La secuencia y duración de las actividades para la implementación de este proyecto se describen en la siguiente tabla.

Tabla XXX. **Instalación del sistema de recuperación de condensado**

Actividad	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11
Construcción del depósito de condensado.	■	■									
Construcción de las cimentaciones para la bomba de eléctrica de condensado y bomba de agua.				■	■						
Instalación del depósito de condensado, bomba de agua y bomba eléctrica de condensado.						■					
Instalación del sistema de tuberías, medidores de presión y aislante térmico.							■	■			
Instalación de los medidores de temperatura y nivel.									■		
Instalación eléctrica de la bomba eléctrica de condensado, motor de la bomba de agua y medidor de nivel.										■	■

Fuente: elaboración propia.

4.6. Costo de implementación

El costo total para implementar el sistema de recuperación de condensado será de Q 65 085,44, el cual se determinó con base en la cantidad y precio de los equipos y accesorios a emplear.

Tabla XXXI. Costo de implementación

Cantidad	Equipo	Costo unitario	Costo Total
1	Bomba de condensado	Q 15 945,27	Q 15 945,27
1	Bomba de agua	Q 29 500,00	Q 29 500,00
1	Depósito de condensado	Q 1 587,00	Q 1 587,00
8	Tubos de acero de ½" de 6 metros de largo	Q 72,00	Q 576,00
1	Tubos de acero de ¾" de 6 metros de largo	Q 105,00	Q 105,00
3	Tubos de acero de 1" de 6 metros de largo	Q 143,00	Q 429,00
12	Tubos de acero de 1½" de 6 metros de largo	Q 240,00	Q 2 880,00
14	Válvulas de compuerta de ½"	Q 26,88	Q 376,32
2	Válvulas de compuerta de ¾"	Q 51,26	Q 102,52
5	Válvulas de compuerta de 1"	Q 78,84	Q 394,18
2	Válvulas de compuerta de 1½"	Q 19,00	Q 380,00
7	Válvulas de retención de ½"	Q 57,00	Q 399,00
1	Válvulas de retención de ¾"	Q 74,00	Q 74,00
3	Válvulas de retención de 1"	Q 101,00	Q 303,00
2	Válvulas de retención de 1½"	Q 212,00	Q 424,00
18	Codos de 90° de ½"	Q 3,36	Q 60,48
1	Codos de 90° de ¾"	Q 4,48	Q 4,48
3	Codos de 90° de 1"	Q 6,72	Q 20,16
4	Codos de 90° de 1½"	Q 16,80	Q 67,20
3	Tés de 1"	Q 14,56	Q 43,68
8	Tés de 1½"	Q 16,80	Q 134,40
2	Reductores de 1" a ½"	Q 9,34	Q 18,68
5	Reductores de 1½" a ½"	Q 5,20	Q 26,00
2	Reductores de 1½" a ¾"	Q 5,20	Q 10,40
1	Reductor de 1½" a 1"	Q 9,74	Q 9,74
53	Cañuelas de aislante térmico de ½"	Q 35,00	Q 1 855,00
1	Cañuelas de aislante térmico de ¾"	Q 39,00	Q 39,00
17	Cañuelas de aislante térmico de 1"	Q 42,00	Q 714,00
80	Cañuelas de aislante térmico de 1½"	Q 54,00	Q 4 320,00
2	Manómetros de tubo de bourdon	Q 185,31	Q 370,62
1	Termómetro bimetálico	Q 916,31	Q 916,31
1	Medidor de nivel de cristal	Q 3 000,00	Q 3 000,00
Costo total			Q 65 085,44

Fuente: elaboración propia.

4.7. Mantenimiento preventivo de la propuesta

Se ha elaborado un programa de mantenimiento preventivo para cada uno de los equipos, tuberías y accesorios empleados en el sistema, con el fin de garantizar su óptimo funcionamiento y reducir la probabilidad de fallas prematuras que puedan interrumpir su operación.

A continuación se presenta cada uno de los programas, los cuales fueron elaborados bajo las recomendaciones de los fabricantes y experiencia del jefe de mantenimiento.

Figura 55. **Programa de mantenimiento del depósito de condensado**

Actividad	Frecuencia
Limpieza externa	Diaria
Inspección y limpieza del medidor de nivel y temperatura	Diaria
Limpieza interna	Mensual
Aplicar capa externa de pintura	Anual

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Programa de mantenimiento de la bomba de condensado**

Actividad	Frecuencia
Revisión del nivel de lubricante en el motor	Diaria
Inspección de fugas de lubricante	Diaria
Revisión de la presión de la bomba	Diaria
Inspección y lubricación de cojinetes	Semestral
Limpieza interna del depósito	Mensual
Inspección del impulsor	Anual
Cambio de lubricante en el motor eléctrico	Anual

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Programa de mantenimiento de la bomba de agua**

Actividad	Frecuencia
Revisión de la presión de la bomba	Diaria
Inspección de fugas de agua y lubricante	Diaria
Revisión de la temperatura de los rodamientos	Mensual
Inspección y lubricación de rodamientos	Semestral
Inspección de prensa estopa	Semestral
Inspección de sellos mecánicos	Semestral
Inspección de empaques	Semestral
Inspección del eje	Semestral
Limpieza de los elementos internos de la bomba	Semestral
Inspección del impulsor	Anual
Revisión de la alineación entre la bomba y el motor	Anual
Cambio de aceite en el motor	Anual

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Programa de mantenimiento de los accesorios**

Actividad	Frecuencia
Inspección y limpieza de los medidores de presión	Diaria
Inspección de tubería, codos y térs	Mensual
Inspección de aislante térmico	Mensual
Revisión de trampas de vapor	Mensual
Revisión de válvulas de compuerta y de retención	Mensual

Fuente: elaboración propia.

4.8. Mantenimiento correctivo de la propuesta

Es el mantenimiento que se ejecuta cuando se presenta alguna falla en los equipos y se busca corregirla. Puesto que en la empresa se busca mejorar la productividad, este tipo de mantenimiento no es recomendable ya que los paros inesperados de los equipos afectan los programas de producción y los resultados de la empresa. Por ello, en este proyecto se trabajará con base en el mantenimiento preventivo y se empleará únicamente el mantenimiento correctivo cuando sea inevitable, como en los siguientes casos.

Tabla XXXV. **Mantenimiento correctivo depósito de condensado**

Actividad	Causa
Limpieza interna	Mediciones altas y fuera de los parámetros permitidos de dureza, total de sólidos disueltos y pH en el condensado, que pudieran causar daños a las partes internas de la caldera Kewanee.

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Mantenimiento correctivo bomba de condensado**

Actividad	Causa
Cambio de cojinetes	Ruido y vibraciones anormales durante el funcionamiento de la bomba debido a cojinetes desgastados, rotos o con mucho juego.
Cambio de sellos y empaques	Fugas de lubricante o agua debido a sellos y empaques desgastados o rotos.
Cambio de impulsor	Caídas de presión en el sistema debido a que el impulsor se encuentra roto o desgastado.
Cambio de lubricante	Incremento en la viscosidad y presencia de una gran cantidad de partículas metálicas en el aceite.
Limpieza interna del depósito	Limpieza del depósito de condensado

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Mantenimiento correctivo bomba de agua**

Actividad	Causa
Cambio de cojinetes	Ruido y vibraciones anormales durante el funcionamiento de la bomba debido a cojinetes desgastados, rotos o con mucho juego.
Cambio de sellos, empaques y prensa estopa	Fugas de lubricante o agua debido sellos, empaques o prensa estopa desgastados o rotos.
Cambio de impulsor	Caídas de presión en el sistema debido a que el impulsor se encuentra roto o desgastado.
Cambio de eje	Desbalanceo y excesiva vibración entre la bomba y el motor, lo que ocasiona el desgaste excesivo o ruptura del eje.
Cambio de lubricante	Incremento en la viscosidad y presencia de una gran cantidad de partículas metálicas en el aceite.

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Mantenimiento correctivo accesorios de tubería**

Actividad	Causa
Cambio de codos y téns	Fugas debido a que los accesorios se han roto.
Cambio de válvulas	Las válvulas dejan pasar el fluido cuando se han cerrado a causa del desgaste de sus obturadores.
Calibración o cambio de medidores de presión, temperatura y nivel	Instrumentos de medición descalibrados que muestran lecturas erróneas.
Cambio o reajuste de aislante térmico	Partes o segmentos de tubería desnudos a causa de desgaste, desprendimiento o cortes en el aislante térmico.
Cambio o reparación de las trampas de vapor	La trampa de vapor se queda en posición abierta lo que ocasiona que esta elimine condensado de forma continua y no intermitente, produciendo pérdidas de vapor.

Fuente: elaboración propia.

4.9. Costo del mantenimiento

Actualmente, la empresa cuenta con varios talleres, herramientas y mano de obra calificada para ejecutar el mantenimiento a los equipos de la planta. Por ello, para el sistema, este costo lo conformará únicamente los repuestos necesarios para cumplir con las tareas contempladas en los programas de mantenimiento preventivo, siendo este de Q 3 792,00.

Entre los repuestos requeridos no se tomaron en cuenta el impulsor y eje de la bomba de agua, el impulsor de la bomba de condensado, el aislante térmico, indicador de presión y el termómetro bimetálico, pues dentro de las políticas de la empresa estos insumos son suministrados bajo pedido especial, pues son partes que fallan con poca frecuencia. Las trampas de vapor y medidores de presión tampoco fueron considerados pues actualmente ya se encuentran en *stock*.

Tabla XXXIX. Costo del mantenimiento

Repuestos	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Válvulas de compuerta de ½"	14	Q 26,88	Q 376,32
Válvulas de compuerta	2	Q 51,26	Q 102,52
Válvulas de compuerta de 1"	5	Q 78,84	Q 394,18
Válvulas de compuerta de 1½"	2	Q 190,00	Q 380,00
Válvulas de retención de ½"	7	Q 57,00	Q 399,00
Válvulas de retención de ¾"	1	Q 74,00	Q 74,00
Válvulas de retención de 1"	3	Q 101,00	Q 303,00
Válvulas de retención de 1½"	2	Q 212,00	Q 424,00
Codos de 90° de ½"	18	Q 3,36	Q 60,48
Codos de 90° de ¾"	1	Q 4,48	Q 4,48
Codos de 90° de 1"	3	Q 6,72	Q 20,16
Codos de 90° de 1½"	4	Q 16,80	Q 67,20
Tés de 1"	3	Q 14,56	Q 43,68
Tés de 1½"	8	Q 16,80	Q 134,40
Reductores de 1" a ½"	2	Q 9,34	Q 18,68
Reductores de 1½" a ½"	5	Q 5,20	Q 26,00
Reductores de 1½" a ¾"	2	Q 5,20	Q 10,40
Reductor de 1½" a 1"	1	Q 9,74	Q 9,74
Sellos mecánicos de	2	Q 117,60	Q 235,20
Cojinetes AL 204	2	Q 354,28	Q 708,56
Total			Q 3 792,00

Fuente: elaboración propia.

Al conocer a detalle el costo de implementación, mantenimiento y ahorro de químicos y bunker núm. 6 que generará anualmente el sistema de recuperación de condensado, se ha elaborado un flujo de caja.

El impuesto sobre la renta y la tasa de inflación no fueron tomados en cuenta para la construcción del flujo de caja, debido a que el proyecto no generará ganancias sino ahorros y no se requerirá de materias primas para producir algún tipo de producto.

El valor de salvamento de los equipos y accesorios del sistema se consideró que será el valor que tendrán los activos al término del quinto año de operación del proyecto (20 %) y por eso en el último año de operación al flujo neto le fue sumada la siguiente cantidad Q 13 017,06 (depreciación total).

Tabla XL. **Flujo de caja primera parte**

Descripción		AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Equipo						
Bomba de condensado	Q 15 945,27					
Bomba de Agua	Q 29 500,00					
Depósito de condensado	Q 1 587,00					
Tubos de acero de ½" de 6 metros de largo	Q 576,00					
Tubos de acero de ¾" de 6 metros de largo	Q 105,00					
Tubos de acero de 1" de 6 metros de largo	Q 429,00					
Tubos de acero de 1½" de 6 metros de largo	Q 2 880,00					
Válvulas de compuerta de ½"	Q 376,32					
Válvulas de compuerta de ¾"	Q 102,52					
Válvulas de compuerta de 1"	Q 394,18					

Continuación de la tabla XL.

Válvulas de compuerta de 1½"	Q 380,00					
Válvulas de retención de ½"	Q 399,00					
Válvulas de retención de ¾"	Q 74,00					
Válvulas de retención de 1"	Q 303,00					
Válvulas de retención de 1½"	Q 424,00					
Codos de 90° de ½"	Q 60,48					
Codos de 90° de ¾"	Q 4,48					
Codos de 90° de 1"	Q 20,16					
Codos de 90° de 1½"	Q 67,20					
Tés de 1"	Q 43,68					
Tés de 1½"	Q 134,40					
Reductores de 1" a ½"	Q 18,68					
Reductores de 1½" a ½"	Q 26,00					
Reductores de 1½" a ¾"	Q 10,40					
Reductor de 1½" a 1"	Q 9,74					
Cañuelas de aislante térmico de ½"	Q 1 855,00					
Cañuelas de aislante térmico de ¾"	Q 39,00					
Cañuelas de aislante térmico de 1"	Q 714,00					
Cañuelas de aislante térmico de 1½"	Q 4 320,00					
Manómetros de tubo de Bourdon	Q 370,62					
Termómetro bimetálico	Q 916,31					
Medidor de nivel de cristal	Q 3 000,00					
Total	Q 65 085,44					

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. **Flujo de caja segunda parte**

Descripción		AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Ingresos		Q 49 828,74				
Costos de mantenimiento		Q 3 792,00				
Costo de ventas		Q 0,00				

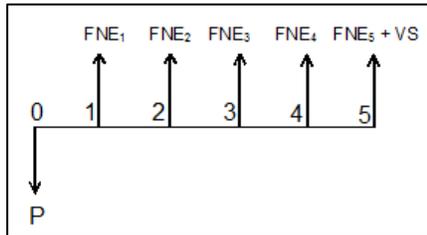
Continuación de la tabla XLI.

Costo de Administración		Q 0,00				
Total de costos		Q 3 792,00				
Utilidades		Q 46 036,74				
Bomba de condensado		Q 3 189,05				
Bomba de agua		Q 5 900,00				
Depósito de condensado		Q 317,40				
Tubos de acero de ½" de 6 metros de largo		Q 115,20				
Tubos de acero de ¾" de 6 metros de largo		Q 21,00				
Tubos de acero de 1" de 6 metros de largo		Q 85,80				
Tubos de acero de 1½" de 6 metros de largo		Q 576,00				
Válvulas de compuerta de ½"		Q 75,26				
Válvulas de compuerta de ¾"		Q 20,50				
Válvulas de compuerta de 1"		Q 78,84				
Válvulas de compuerta de 1½"		Q 76,00				
Válvulas de retención de ½"		Q 79,80				
Válvulas de retención de ¾"		Q 14,80				
Válvulas de retención de 1"		Q 60,60				
Válvulas de retención de 1½"		Q 84,80				
Codos de 90° de ½"		Q 12,10				
Codos de 90° de ¾"		Q 0,90				
Codos de 90° de 1"		Q 4,03				
Codos de 90° de 1½"		Q 13,44				
Tés de 1"		Q 8,74				
Tés de 1½"		Q 26,88				
Reductores de 1" a ½"		Q 3,74				
Reductores de 1½" a ½"		Q 5,20				
Reductores de 1½" a ¾"		Q 2,08				
Reductor de 1½" a 1"		Q 1,95				
Cañuelas de aislante térmico de ½"		Q 371,00				
Cañuelas de aislante térmico de ¾"		Q 7,80				
Cañuelas de aislante térmico de 1"		Q 142,80				
Cañuelas de aislante térmico de 1½"		Q 864,00				
Manómetros de tubo de Bourdon		Q 74,12				
Termómetro bimetálico		Q 183,26				
Medidor de nivel de cristal		Q 600,00				
Total de depreciación		Q 13 017,09				
Flujo neto de efectivo	-Q 65 085,44	Q 59 053,83	Q 59 053,83	Q 59 053,83	Q 59 053,83	Q 72 070,92

Fuente: elaboración propia.

Para la implementación del proyecto se realizará un préstamo de Q 65 085,44 al Banco de Guatemala a una tasa de interés del 15,25 %, el cual será pagado a un plazo de cinco años. A partir de esto se calcularon el VAN y la TIR del proyecto, para determinar si es conveniente para la empresa su implementación.

Figura 56. Diagrama de flujo de efectivo



Fuente: BACA URBINA, Gabriel. *Evaluación de proyectos*. p. 223.

- VAN

El valor actual neto es la diferencia entre todos los ingresos y egresos que tendrá un proyecto durante su tiempo de vida. Este criterio sirve para aceptar a los proyectos cuyo VAN es mayor o igual que cero, pues se obtendrán beneficios (ganancias), y rechazar a aquellos en los que es menor a cero, pues generarán pérdidas.

$$VAN = -P + \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \frac{FNE_3}{(1+i)^3} + \frac{FNE_4}{(1+i)^4} + \frac{FNE_5 + VS}{(1+i)^5}$$

Donde

VAN: valor actual neto

P: inversión inicial

FNE: Representa el flujo neto de efectivo

i: tasa de interés del proyecto

VS: valor de salvamento

$$VAN = -Q\ 65\ 085,44 + \frac{Q\ 59\ 053,83}{(1+0,1525)^1} + \frac{Q\ 59\ 053,83}{(1+0,1525)^2} + \frac{Q\ 59\ 053,83}{(1+0,1525)^3} + \frac{Q\ 59\ 053,83}{(1+0,1525)^4} + \frac{Q\ 72\ 070,92}{(1+0,1525)^5}$$

$$\text{VAN} = \text{Q } 138\,107,94$$

El beneficio que se obtendrá en los cinco años de vida del proyecto será Q 138 107,94, ya que este es mayor a cero se puede decir que el proyecto debe de llevarse a cabo.

- TIR

Representa la máxima tasa de interés que un inversionista puede pagar sin obtener pérdidas, ya que los beneficios generados serán exactamente iguales a los desembolsos realizados en la ejecución del proyecto. Si la TIR es mayor o igual a la tasa de interés con la que se realizó el préstamo, el proyecto debe de aceptarse y si es menor, debe de rechazarse. La tasa interna de retorno se determina al igualar el VAN a cero y posteriormente despejarla de la ecuación.

$$\text{VAN} = -P + \frac{\text{FNE}_1}{(1+\text{TIR})^1} + \frac{\text{FNE}_2}{(1+\text{TIR})^2} + \frac{\text{FNE}_3}{(1+\text{TIR})^3} + \frac{\text{FNE}_4}{(1+\text{TIR})^4} + \frac{\text{FNE}_5 + \text{VS}}{(1+\text{TIR})^5} = 0$$

Donde:

VAN: valor actual neto

P: inversión inicial

FNE: flujo neto de efectivo

TIR: de retorno del proyecto

VS: valor de salvamento

$$-\text{Q } 65\,085,44 + \frac{\text{Q } 59\,053,83}{(1+\text{TIR})^1} + \frac{\text{Q } 59\,053,83}{(1+\text{TIR})^2} + \frac{\text{Q } 59\,053,83}{(1+\text{TIR})^3} + \frac{\text{Q } 59\,053,83}{(1+\text{TIR})^4} + \frac{\text{Q } 72\,070,92}{(1+\text{TIR})^5} = 0$$

TIR= 88 %

La tasa interna de retorno (TIR) será de 88 %, al compararla con la tasa del 15,25 % a la cual se realizará el préstamo para la ejecución del proyecto, se aprecia que esta es mucho mayor y, tomándola como segundo criterio de evaluación del proyecto, se puede confirmar que este deberá implementarse, pues queda claro que únicamente existirán beneficios, ya que la tasa máxima a la cual podría realizarse el préstamo para la ejecución del proyecto sin tener pérdidas sería del 88 %.

5. MEJORA CONTINUA

5.1. Producción de vapor

Luego de implementar el sistema, se logrará reducir el consumo de agua, químicos y bunker empleados por la caldera Kewanee para producir vapor.

5.1.1. Mejoras en el agua tratada

A continuación se presentan las mejoras en el agua tratada.

5.1.1.1. Ahorros en el consumo de químicos

El ahorro anual estimado de SQI 700, 1450 y 1700 será de 26,34 galones por químico. Este se determinó debido al ahorro anual de 410 844,26 galones de agua que se espera alcanzar al reutilizar el condensado, el cual representa el 27,43 % del volumen de agua consumido actualmente por la caldera Kewanee, ya que los químicos son suministrados de forma proporcional al volumen de agua utilizado.

5.1.1.2. Ahorros en el costo de químicos

El ahorro en el costo de los químicos se estima que será de Q 7 769,84. Este valor fue determinado con base en el volumen que se espera ahorrar y el costo individual de cada uno de los químicos empleados en el proceso de tratamiento de agua. En la tabla XL se detallan estos ahorros.

5.1.2. Mejoras en la operación de las calderas

Entre las mejoras que se espera tener durante la operación de la caldera Kewanee están:

5.1.2.1. Duración del ciclo de trabajo

La duración del ciclo de trabajo de la caldera Kewanee es de diez minutos y permanecerá constante, pues este es programado por técnicos externos a la compañía, por ello no se dará una reducción en la duración del ciclo.

5.1.2.2. Eficiencia

La eficiencia actual y anterior de la caldera serán determinadas mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\dot{m}_{\text{vapor}}(h_{\text{vapor}} - h_{\text{agua}})}{\dot{m}_{\text{combustible}} * P_{\text{cc}}}$$

Donde

\dot{m}_{vapor} = flujo másico de vapor (libras por hora)

$\dot{m}_{\text{combustible}}$ = flujo másico de combustible (libras por hora)

h_{vapor} = entalpia del vapor (Unidad Térmica Británica por hora)

h_{agua} = entalpia del agua (Unidad Térmica Británica por libra)

P_{cc} = poder calorífico del combustible (150 957,72 Unidad Térmica Británica por libra)

El flujo másico de vapor que circula por la tubería que lo conduce de la caldera al manifold de distribución se determinó empleando la tabla que se

presenta en la figura 60, ya que actualmente no existe un medidor de flujo en el sistema. Puesto que se conoce que esta tubería tiene un diámetro de 4" (101,6 mm), que la presión en el sistema de vapor es de 8,62 Bar y que la velocidad de este fluido es de 25 m/s, luego de interpolar se calcula que el flujo másico de vapor es de aproximadamente 3 421,35 kg/h o 1 555,16 Lb/h.

Tabla XLIII. **Flujo másico de vapor**

Presión (bar)	Flujo másico (kg/h)
8	3 240
8,62	\dot{m}_{vapor}
10	3 825

Fuente: elaboración propia.

$$\frac{8,62 - 8}{10 - 8} = \frac{\dot{m}_{\text{vapor}} - 3\,240}{3\,825 - 3\,240}$$

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = 3\,421,35 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = 3\,421,35 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ Lb}}{2,2 \text{ kg}} = 1\,555,16 \frac{\text{Lb}}{\text{h}}$$

Figura 58. Flujos de condensado

Presión bar	Velocidad m/s	kg/h										
		15mm	20mm	25mm	32mm	40mm	50mm	65mm	80mm	100mm	125mm	150mm
0,4	15	7	14	24	37	52	99	145	213	394	648	917
	25	10	25	40	62	92	162	265	384	675	972	1 457
	40	17	35	64	102	142	265	403	576	1 037	1 670	2 303
0,7	15	7	16	25	40	59	109	166	250	431	680	1 006
	25	12	25	45	72	100	182	287	430	716	1 145	1 575
	40	18	37	68	106	167	298	428	630	1 108	1 712	2 417
1,0	15	8	17	29	43	65	112	182	260	470	694	1 020
	25	12	26	48	72	100	193	300	445	730	1 160	1 660
	40	19	39	71	112	172	311	465	640	1 150	1 800	2 500
2,0	15	12	25	45	70	100	182	280	410	715	1 125	1 580
	25	19	43	70	112	162	295	428	656	1 215	1 755	2 520
	40	30	64	115	178	275	475	745	1 010	1 895	2 925	4 175
3,0	15	16	37	60	93	127	245	385	535	925	1 505	2 040
	25	26	56	100	152	225	425	632	910	1 580	2 480	3 440
	40	41	87	157	250	375	595	1 025	1 460	2 540	4 050	5 940
4,0	15	19	42	70	108	156	281	432	635	1 166	1 685	2 460
	25	30	63	115	180	270	450	742	1 080	1 980	2 925	4 225
	40	49	116	197	295	456	796	1 247	1 825	3 120	4 940	7 050
5,0	15	22	49	87	128	187	352	526	770	1 295	2 105	2 835
	25	36	81	135	211	308	548	885	1 265	2 110	3 540	5 150
	40	59	131	225	338	495	855	1 350	1 890	3 510	5 400	7 870
6,0	15	26	59	105	153	225	425	632	925	1 555	2 525	3 400
	25	43	97	162	253	370	658	1 065	1 520	2 530	4 250	6 175
	40	71	157	270	405	595	1 025	1 620	2 270	4 210	6 475	9 445
7,0	15	29	63	110	165	260	445	705	952	1 815	2 765	3 990
	25	49	114	190	288	450	785	1 205	1 750	3 025	4 815	6 900
	40	76	177	303	455	690	1 210	1 865	2 520	4 585	7 560	10 880
8,0	15	32	70	126	190	285	475	800	1 125	1 990	3 025	4 540
	25	54	122	205	320	465	810	1 260	1 870	3 240	5 220	7 120
	40	84	192	327	510	730	1 370	2 065	3 120	5 135	8 395	12 470
10,0	15	41	95	155	250	372	626	1 012	1 465	2 495	3 995	5 860
	25	66	145	257	405	562	990	1 530	2 205	3 825	6 295	8 995
	40	104	216	408	615	910	1 635	2 545	3 600	6 230	9 880	14 390
14,0	15	50	121	205	310	465	810	1 270	1 870	3 220	5 215	7 390
	25	85	195	331	520	740	1 375	2 080	3 120	5 200	8 500	12 560
	40	126	305	555	825	1 210	2 195	3 425	4 735	8 510	13 050	18 630

Fuente: Spirax sarco. www2.spiraxsarco.com. Consulta: junio de 2015.

El flujo másico de bunker número seis antiguo y actual es de 19,32 Lb/h y 18,88 libras por hora, estos fueron determinados mediante su consumo anual y densidad de la siguiente forma.

$$\text{Densidad del bunker núm. 6} = 0,9896 \frac{\text{kg}}{\text{l}} * \frac{3,785 \text{ l}}{1 \text{ gal}} = 3,74 \frac{\text{kg}}{\text{gal}}$$

- Flujo másico anterior

$$\text{Flujo volumétrico} = 99\,556 \frac{\text{gal}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} = 11,36 \frac{\text{gal}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{\text{combustible}} = \text{Densidad} * \text{Flujo volumétrico}$$

$$\dot{m}_{\text{combustible}} = 3,74 \frac{\text{kg}}{\text{gal}} * 11,36 \frac{\text{gal}}{\text{h}} = 42,50 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ Lb}}{2,2 \text{ kg}} = 19,32 \frac{\text{Lb}}{\text{h}}$$

- Flujo másico actual

$$\text{Flujo volumétrico} = (99\,556 - 2\,239,56) \frac{\text{gal}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} = 11,11 \frac{\text{gal}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{\text{combustible}} = \text{Densidad} * \text{Flujo volumétrico}$$

$$\dot{m}_{\text{combustible}} = 3,74 \frac{\text{kg}}{\text{gal}} * 11,11 \frac{\text{gal}}{\text{h}} = 41,55 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ Lb}}{2,2 \text{ kg}} = 18,88 \frac{\text{Lb}}{\text{h}}$$

La entalpía del vapor a una presión de 125 PSI y temperatura de 344 °F (173,33 °C) es de 1 191,45 Btu/Lb, la entalpía del agua a una temperatura de 87,26 °F (30,7 °C) es de 55,52 Btu/Lb. Estas propiedades fueron determinadas mediante el empleo de tablas termodinámicas y con el conocimiento de las condiciones a las que el vapor es generado y el agua ingresa a la caldera Kewanee. Ya con todos los datos necesarios se procede a determinar la eficiencia anterior y actual del equipo.

$$\text{Eficiencia anterior} = \frac{\dot{m}_{\text{vapor}}(h_{\text{vapor}} - h_{\text{agua a } 87,26 \text{ °F}})}{\dot{m}_{\text{combustible}} * P_{\text{cc}}}$$

$$\text{Eficiencia anterior} = \frac{\left(1\,555,16 \frac{\text{Lb}}{\text{h}}\right) * \left(1\,191,45 \frac{\text{Btu}}{\text{kg}} - 55,52 \frac{\text{Btu}}{\text{Kg}}\right)}{\left(19,32 \frac{\text{Lb}}{\text{h}}\right) * \left(150\,957,72 \frac{\text{Btu}}{\text{Lb}}\right)} * 100 = 60,54 \%$$

$$\text{Eficiencia actual} = \frac{\dot{m}_{\text{vapor}}(h_{\text{vapor}} - h_{\text{agua a } 140 \text{ }^\circ\text{F}})}{\dot{m}_{\text{combustible}} * P_{\text{cc}}}$$

$$\text{Eficiencia anterior} = \frac{\left(1\,555,16 \frac{\text{Lb}}{\text{h}}\right) * \left(1\,191,45 \frac{\text{Btu}}{\text{kg}} - 55,52 \frac{\text{Btu}}{\text{Kg}}\right)}{\left(18,88 \frac{\text{Lb}}{\text{h}}\right) * \left(150\,957,72 \frac{\text{Btu}}{\text{Lb}}\right)} * 100 = 61,96 \%$$

Mejora en la eficiencia= eficiencia actual-eficiencia anterior

Mejora en la eficiencia= 61,96 %-60,54 %= 1,42 %

De lo anterior se deduce que gracias al ahorro de combustible que se logrará mediante la recuperación, reutilización y aprovechamiento del calor que posee el condensado, se conseguirá una mejora en la eficiencia de la caldera Kewanee de 1,42 %, la cual es significativa, ya que, según la teoría, para mejorar en un 1 % la eficiencia de una caldera se debe incrementar la temperatura del agua de alimentación en 6 °C.

5.1.2.3. Ahorros en el consumo de combustible

El ahorro anual de bunker núm. 6 se espera que sea de 2 239,56 galones, como fue determinado en el capítulo dos. Este se alcanzará gracias al ahorro de energía (calor) que se tendrá al recuperar el condensado que debido a su elevada temperatura en comparación con la del agua de alimentación requiere de una menor cantidad de combustible para convertirse en vapor.

5.1.2.4. Ahorros en el costo del combustible

El ahorro anual en el costo del bunker núm. 6 se espera que sea de Q 42 058,90, valor determinado con los datos de su ahorro en el consumo y costo.

$$\text{Ahorro anual de bunker n\u00fam. 6} = 2\,239,56 \frac{\text{gal}}{\text{a\u00f1o}} * \frac{Q\,18,78}{1\text{ gal}} = Q\,42\,058,90$$

5.1.2.5. Hoja de verificaci\u00f3n del consumo de combustible

Es el documento que emplear\u00e1n los trabajadores de la bodega de repuestos para llevar un control y registro del consumo diario de bunker n\u00famero seis en los dos tanques subterr\u00e1neos.

Figura 59. Hoja de verificaci\u00f3n del consumo de bunker n\u00fam. 6

	Bunker No.6						
	CIFRAS EXPRESADAS EN GALONES						
	LUNES FECHA 01	MARTES FECHA 02	MI\u00c9RCOLES FECHA 03	JUEVES FECHA 04	VIERNES FECHA 05	S\u00c1BADO FECHA 06	TOTAL POR SEMANA
TANQUE 1	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	12,390
TANQUE 2	1,662	4,306	3,717	3,324	1,094	2,899	17,002
TOTAL	3,727	6,371	5,782	5,389	3,159	4,964	29,392

Elaboro: Asistente Jefe de Mantenimiento	Vo.Bo. Jefe de Mantenimiento
--	------------------------------

Fuente: bodega de repuestos, Empresa de Tubos.

5.1.3. Mejoras en el proceso de soplado de tubos galvanizados

A continuaci\u00f3n se presentan las mejoras en el proceso de soplado de tubos galvanizados.

5.1.3.1. Productividad

Con la optimización de los recursos del proceso de producción de vapor, se determinaron las productividades por factor y total del proceso de soplado de tubos galvanizados.

- Productividad por factor

$$\text{Agua} = \frac{\text{Producción}}{\text{Insumos}} = \frac{206\,065 \text{ tubos}}{1\,086\,728,01 \text{ gal}} = 0,19 \frac{\text{tubos}}{\text{gal}}$$

$$\text{Químicos} = \frac{\text{Producción}}{\text{Insumos}} = \frac{206\,065 \text{ tubos}}{209 \text{ gal}} = 985,96 \frac{\text{tubos}}{\text{gal}}$$

$$\text{Bunker} = \frac{\text{Producción}}{\text{Insumos}} = \frac{206\,065 \text{ tubos}}{97\,316,44 \text{ gal}} = 2,12 \frac{\text{tubos}}{\text{gal}}$$

Luego de realizar los cálculos de productividad se observa que habrán mejoras en el proceso de soplado de tubos, pues se requerirá de una menor cantidad de recursos para soplar con vapor la misma cantidad de tubos galvanizados, ya que la productividad del agua, químicos y bunker serán 0,19, 985,96 y 2,12 tubos/gal respectivamente.

5.1.4. Control del sistema de recuperación

Para el control del sistema de recuperación de condensado se elaborarán y emplearán los siguientes documentos.

5.1.4.1. Hojas de verificación de operación

- Hoja de parámetros del sistema: es el documento que se empleará para verificar la operación correcta de los equipos del sistema, mediante la lectura y registro de la presión en la línea de recuperación y línea de retorno, temperatura y nivel de condensado en el depósito, para detectar cualquier anomalía durante la operación.

Figura 60. Hoja de parámetros del sistema

 DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO CHECK LIST DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADO						
DIA:	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO
FECHA:						
DESCRIPCIÓN						
Presión en la línea de recuperación (PSI)						
Presión en la línea de retronó (120 PSI)						
Temperatura del condensado en el depósito (85-100 °C)						
Verificar nivel de condensado en el depósito (3/4 del visor de nivel)						
Nota: Informar al jefe de taller cuando las presiones y temperaturas, no están dentro del rango especificado.						
Observaciones: _____ _____ _____						
Elaboro: Asistente de Jefe de Mantenimiento.			Vo.Bo. Jefe de Mantenimiento.			

Fuente: Departamento de Mantenimiento, Empresa de Tubos.

- Hoja de parámetros del condensado: es el documento que se empleará para llevar un control y registro del pH, total de sólidos disueltos (TDS), residual y dureza del condensado, con el fin de verificar que estos parámetros se encuentran dentro de lo normal o, de ser lo contrario, tomar las medidas necesarias.

Figura 61. Hoja de parámetros del condensado



TALLER MECANICO INTUPERSA

REPORTE DE PARAMETROS DEL CONDENSADO

FECHA	PH (7 - 11.5)	TDS (Max. 2,500)	RESIDUAL (20 – 50)	DUREZA (Cero)	RESPONSABLE

Jefe del Taller Mecánico: _____ Jefe de Mantenimiento Mecánico: _____

Observaciones:

Cuando el residual del condensado se encuentre en el mínimo, Informar a su jefe inmediato y corregir el parámetro aplicando la dosis de choque (2litro de cada químico: SQT 700, 1,450 y 1,700) al tanque de condensado.
 Cuando el parámetro de TDS sea mayor a 2,500 ppm, Informar al jefe del taller mecánico, se debe purgar la caldera por un lapso de 10 segundos (2 veces cada uno de 5 segundos) en la válvula de purga y verificar que la purga automática no este encendida.
 Cuando la dureza del agua de la caldera es mayor a cero, informar al jefe de taller mecánico y verificar que el depósito del suavizador tenga la cantidad adecuada de sal (20 Lbs.) y verificar el funcionamiento óptimo del suavizador.

Fuente: Departamento de Mantenimiento, Empresa de Tubos.

5.1.4.2. Hojas de verificación de mantenimiento

- Órdenes de trabajo: es el documento que se empleará para llevar un control y registro del mantenimiento, conocer el equipo sobre el cual se ejecutará, la persona que lo realizará, la persona que lo supervisará, la fecha de inicio y fin de los trabajos, repuestos requeridos, entre otros.

mantenimiento, detallando los trabajos que se encuentran en ejecución, el porcentaje que se ha completado de ellos, su comienzo, finalización, días que se han asignado para su ejecución, días en los que se han ejecutado, eficacia del programa y la persona encargada de realizar las actividades programadas. Este servirá para llevar indicadores de la eficacia en el cumplimiento de los programas de mantenimiento preventivo de los equipos del sistema de recuperación de condensado.

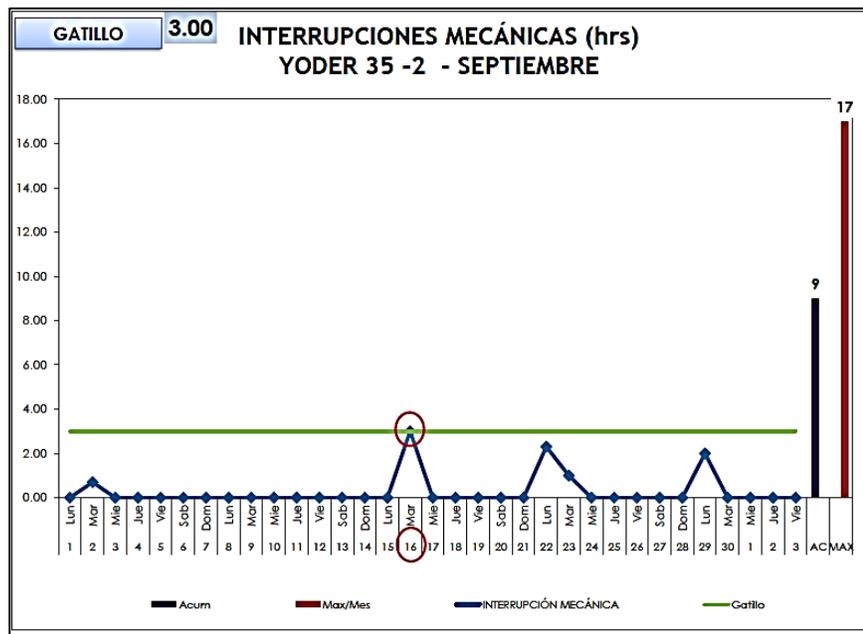
5.1.5. Auditorías internas

La auditoría interna se realizará sobre el proceso de tratamiento de fallas, para encontrar y eliminar las principales causa raíz de las fallas mecánicas de los equipos del sistema de recuperación de condensado, evitando con ello que estas se vuelvan a presentar de forma recurrente en el futuro.

El proceso de auditoría consistirá en la elaboración de un gráfico de control semanal de los problemas que se han presentado en los equipos durante su operación y el tiempo que estos han permanecido parados debido a ello. Este gráfico posee un límite, el cual representa el tiempo máximo que tienen los trabajadores de los talleres mecánico y eléctrico para ejecutar las reparaciones y poner de nuevo en funcionamiento a los equipos, este tiempo ha sido establecido por el Departamento de Gestión y Tecnología de la empresa para cada uno de los equipos de la planta y se espera se determine uno para el sistema.

En el gráfico se presentarán las interrupciones por día y fecha que han tenido los equipos para analizar y estudiar aquellos puntos que se encuentren por encima o en el límite de tiempo asignado. Una vez detectados, se procederá a realizar una investigación con el encargado de mantenimiento y mecánicos hasta encontrar la causa de la falla y por qué la reparación llevo más tiempo del asignado.

Figura 64. Ejemplo del gráfico control para tratamiento de fallas



Fuente: Departamento de Gestión y Tecnología, Empresa de Tubos.

Posteriormente se convocará a una reunión con el encargado de mantenimiento, jefe del taller mecánico, gerente de la planta y persona encargada de llevar el control del proceso de tratamiento de fallas. Esta última presentará el problema o problemas principales y sus posibles causas, expondrá los resultados de las investigaciones y determinará junto con todos los presentes en la reunión cuál es la mejor solución para tratar tal falla, a fin de erradicarla por completo o reducir su impacto.

Se debe tomar en cuenta y hacer ver a los involucrados que lo que se pretende con esta metodología no es determinar a los culpables, sino que todos participen de manera activa encontrando las mejores soluciones.

Si todos cumplen con las fechas y se soluciona el problema, se deberá tener una reunión nuevamente, en el cual se evaluará si la solución realmente funcionó, si hay algo que mejorar o si definitivamente hay que empezar todo de nuevo.

CONCLUSIONES

1. Al implementar el diseño del sistema de recuperación de condensado, la Empresa de Tubos alcanzará un ahorro anual de Q 49 828,74, por la reducción del consumo de agua, bunker y químicos empleados en el proceso de producción de vapor.
2. La energía (calor) desaprovechada al no reutilizar el condensado es de 38 593,44 Btu/h, por la elevada temperatura con la que este fluido es eliminado de las líneas de vapor, la cual le ha sido proporcionada por el combustible en la caldera y equivale a 2 239,56 gal/año de bunker núm. 6.
3. El volumen de condensado eliminado anualmente es de 410 844,26 galones, lo cual representa el 27,43 % del volumen total empleado en el área de calderas para la producción de vapor.
4. Debido a que los químicos son suministrados de forma proporcional al volumen de agua empleada por las calderas (27,43 %), el ahorro anual será de Q 7 769,84 y 79 galones.
5. La reducción del consumo de agua, bunker núm. 6 y químicos empleados para producir vapor, generará un aumento en la eficiencia de la caldera Kewanee de 60,54 a 61,96 %, un incremento en la cantidad de vapor generado por este equipo y en la productividad del proceso de soplado de tubos en el horno de galvanizado.

6. El valor actual neto y tasa interna de retorno que se esperan obtener luego de que el sistema de recuperación de condensado opere por cinco años son Q 138 107,94 y 88 % respectivamente. Puesto que el VAN es mayor que uno y la TIR mayor a la tasa de interés del 15,25 % a la cual se realizará el préstamo de Q 65 085,44 para la implementación, el proyecto debe de aceptarse, pues no solamente le permitirá a la empresa recuperar la inversión inicial sino también obtener beneficios.

7. El tiempo de recuperación de la inversión inicial (Q 65 085,44) será de aproximadamente 16 meses (1,31 años), este fue determinado al dividir el costo de implementación del proyecto dentro del ahorro anual esperado (Q 49 828,74).

RECOMENDACIONES

1. Instalar un medidor de caudal, presión y temperatura en el sistema de vapor que permita monitorear con una mayor facilidad sus condiciones, detectar cualquier problema y, además, permita al encargado de mantenimiento determinar los cambios en la eficiencia térmica de las calderas con una mayor exactitud.
2. Instalar dos contadores de agua, uno en la línea que la conduce del tanque de almacenamiento núm. 1 a la caldera Kewanee y el otro en la línea que la conduce del tanque de almacenamiento núm. 2 a la caldera Power, que permita llevar un control y registro de las cantidades en las que este recurso es empleado.
3. Se debe completar el aislamiento térmico de las líneas de vapor. Actualmente existen grandes partes descubiertas al ambiente, lo cual produce pérdidas de energía (calor), alta generación de condensado y una reducción en la eficiencia térmica de las calderas.
4. Emplear los registros de las hojas de verificación del consumo de químicos y bunker núm. 6 para la elaboración de gráficos de control que permitan monitorear la reducción en el empleo de estos recursos, detectar cualquier anomalía y oportunidades de mejora.
5. Emplear los registros de las hojas de mantenimiento para determinar indicadores que le permitan al jefe de esta área conocer la eficacia en la ejecución del programa de mantenimiento, analizar las posibilidades de

mejora y justificar ante el gerente de la planta los resultados en la reunión de tratamiento de fallas.

BIBLIOGRAFÍA

1. BACA URBINA, Gabriel. *Evaluación de proyectos*. 4a ed. México: McGraw-Hill, 2001. 238 p.
2. BERRONES GALARZA, Juan Giovanny; PONCE BENAVIDES, Christian Giovanny. *Auditoría energética del sistema de vapor del Hospital de Niños "Baca Ortiz"*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2013. 125 p.
3. BOHÓRQUEZ GUZMÁN, Roberto Daniel. *Auditoría energética al circuito de vapor y condensado de una planta de elaboración de café liofilizado*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, 2013. 184 p.
4. CENGEL, Yunus; BOLES, Michel. *Termodinámica*. 6a ed. México: McGraw-Hill, 2009. 1 011 p.
5. DE AZEVEDO NETTO, José Martiniano. *Manual de hidráulica*. 8a ed. Brasil: Bluncher, 1998. 669 p.

6. KLOTH TELLO, Carlos Roberto. *Programa de mantenimiento preventivo para un área piloto en una empresa manufacturera de algodón absorbente*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 141 p.
7. MOT, Robert L. *Mecánica de fluidos*. 6a ed. México: Pearson, 2006. 629 p.
8. PALACIOS MARTINEZ, Henry Marot. *Estudio para el rediseño de la red de vapor y retorno del condensado para el Hospital General San Juan de Dios, Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 158 p.
9. ROSALER, Roberto C. *Manual de mantenimiento industrial*. México: McGraw-Hill, 1997. 3a.
10. Spirax Sarco. *Guía de referencia técnica de distribución del vapor*. [en línea]. <<http://www2.spiraxsarco.com/ar/pdfs/training/gcm-03.pdf>>. [Consulta: noviembre de 2015].
11. TLV. *Recupero del condensado*. [en línea]. <<http://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/introduction-to-condensate-recovery.html>>. [Consulta: noviembre de 2015].

ANEXOS

Anexo 1. Especificaciones de la bomba eléctrica de condensado W410

PUMPS

ELECTRIC PUMPS

W4100 & W4200

Electric Condensate Pump

Watson McDaniel reserves the right to change the design or specifications of this product without notice. See www.watsonmcdaniel.com

Model	W4100	W4200
Tank Sizes	8/15/30/45/60/95 Gal.	6/15/24/36/50 Gal.
Connections	NPT	NPT
Tank Material	Fabricated Carbon Steel	Cast Iron
Max Disch. Press.	50 PSIG *	50 PSIG *
TMO/TMA	190°F	190°F
Options	Mechanical & electrical alternators; gauge glass; thermometer; discharge pressure gauges; isolation valves; magnetic starters; 1750 RPM motors; control panels; oversized or stainless steel receivers; high temperature components	

* Optional higher ratings available.

TYPICAL APPLICATIONS

The primary purpose of the W4100 and W4200 electric condensate pumps are to return condensate back to the boiler. Pumping condensate over 190°F is not recommended with these pumps due to potential mechanical seal failure.

HOW IT WORKS

The float, which is connected to the switch assembly rises when condensate enters the receiver tank. When the float rises above its set point, it energizes the motor on the pump. Once started, the pump will continue to run until the water level drops below the bottom position of the float switch. There it will de-energize the motor to shut off the pump. This cycle repeats as condensate begins to fill the receiver tank.

FEATURES

- Fabricated steel receivers (W4100) or cast iron receivers (W4200)
- Simplex and duplex packages
- Bronze-fitted centrifugal pumps
- Energy-efficient 3450 RPM motors
- Automatic venting
- Ceramic pump seal
- Heavy-duty float switch
- All steel receivers, and iron receivers over 24 gallons include a threaded NPT overflow port

SAMPLE SPECIFICATION

Pump(s) shall be of the centrifugal type with two-piece enclosed brass impeller, cast iron housing and stainless steel motor shaft. The float switch shall be two-pole with plastic case, stainless steel float and shutoff, and double-break silver contacts. A flat perforated brass strainer shall be provided in the inlet of the pump from the tank.



INSTALLATION

Place on an elevated, level and substantial foundation in a clean, dry and accessible area. Locate receiver tank inlet below lowest point of the condensate return lines.

MAINTENANCE

At regular intervals, check the motor lubrication, unless the motor is equipped with a permanently lubricated bearing.

OPTIONS

- Mechanical and electrical alternators
- Gauge glass
- Thermometer
- Discharge pressure gauges
- Isolation valves
- Magnetic starters with HOA selector switch
- 1750 RPM motors, larger pumping capacities & higher discharge pressures
- Wide variety of control panels
- Oversized receivers (45, 60 & 95 gallons)
- Stainless Steel receivers
- High Temperature (250°F) Components

HOW TO ORDER

Specify the discharge pressure, gallons per minute and voltage requirements when ordering.

112 428 Jones Boulevard • Universal Airport Business Center • Pottstown, PA • 19864 • Tel: 610-495-5131 • Fax: 610-495-5134
www.watsonmcdaniel.com



Continuación del anexo 1.

ELECTRIC PUMPS W4100 & W4200

Electric Condensate Pump

Series

W4100 (Steel Receiver) Dimensions – inches

Series	Receiver Size	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L
C	8 gallon	12 ³ / ₄	10 ¹ / ₂	12 ¹ / ₂	12 ¹ / ₂	18	21 ¹ / ₂	2				3/4
	15 gallon	14 ³ / ₄	12 ³ / ₄	17	15	20 ¹ / ₂	23 ¹ / ₄	2	1 ¹ / ₂	4 ¹ / ₂	1/2	3/4
	30 gallon	18 ³ / ₄	16 ¹ / ₂	22	18	23 ¹ / ₂	28	2 ¹ / ₂				3/4
J	45 gallon	20 ³ / ₄	24 ¹ / ₂	22	18	—	29 ³ / ₈	2 ¹ / ₂				1 ¹ / ₂
	60 gallon	28 ³ / ₄	26 ¹ / ₂	28	18	—	29 ⁵ / ₈	2 ¹ / ₂	1	3 ¹ / ₂	1/2	1 ¹ / ₂
	95 gallon	28 ³ / ₄	26 ¹ / ₂	28	28	—	39 ⁵ / ₈	2 ¹ / ₂				1 ¹ / ₂

W4200 (Cast Iron Receiver) Dimensions – inches

Series	Receiver Size	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L
C	6 gallon	4 ¹ / ₂	12 ¹ / ₂	14 ¹ / ₂	12 ³ / ₄	18 ¹ / ₂	20 ⁷ / ₈	2	3/4	4 ³ / ₈	3/4	3/4
	15 gallon	14 ⁷ / ₈	13 ¹ / ₂	18 ¹ / ₂	13 ¹ / ₂	19 ¹ / ₂	24	2	1	3 ³ / ₈	1/2	3/4
	24 gallon	19 ¹ / ₂	15 ³ / ₄	25 ¹ / ₂	15	20 ¹ / ₂	22 ¹³ / ₈	2	1	4 ¹ / ₂	3/4	3/4
	36 gallon	18 ⁵ / ₈	15 ¹ / ₂	27 ¹ / ₂	22 ¹ / ₂	27 ⁷ / ₈	31 ¹ / ₂	3	1	4 ¹ / ₂	3/4	3/4
J	36 gallon	18 ⁵ / ₈	15 ¹ / ₂	27 ¹ / ₂	22 ¹ / ₂	—	35 ⁵ / ₈	3	1	4 ³ / ₈	3/4	1 ¹ / ₂
	50 gallon	18 ⁵ / ₈	15 ¹ / ₂	27 ¹ / ₂	31	—	43 ¹ / ₂	3	1	4 ³ / ₈	3/4	1 ¹ / ₂

428 Jones Boulevard • Newark Airport Business Center • Paterson, NJ • 07654 • Tel: 201-995-0137 • Fax: 201-995-0134
www.watsonmcdaniel.com

113

Continuación del anexo 1.

ELECTRIC PUMPS

W4100

Electric Condensate Pump with Steel Receiver

Model selection based on
 1) EDR or capacity design
 or 2) maximum of 8
 psi differential across
 the receiver capacity

PUMPS

CAPACITIES

EDR	Discharge Pressure (PSIG)	Flow Rate (GPM)	Motor HP	Receiver Capacity (gallons)	Simplex Model #	Weight (lbs)	Duplex Model #	Weight (lbs)
8000	20	12	1/3	8	W4129G	90	N/A	N/A
2000	20	3	1/3	15	W4122G	125	W4122GD	185
4000	20	6	1/3	15	W4124G	125	W4124GD	185
6000	20	9	1/3	15	W4126G	125	W4126GD	185
8000	20	12	1/3	15	W4129G	125	W4129GD	185
10000	20	15	1/2	30	W4121GG	190	W4121GGD	240
15000	20	22.5	1/2	30	W41215G	190	W41215GD	240
20000	20	30	3/4	30	W4122GG	200	W4122GGD	250
25000	20	37.5	3/4	45	W41225G	285	W41225GD	350
30000	20	45	1	45	W4123G	285	W4123GD	350
40000	20	60	1 1/2	60	W4124G	335	W4124GD	405
50000	20	75	2	95	W4125G	385	W4125GD	460
2000	30	3	1/2	15	W4132J	180	W4132JD	250
4000	30	6	1/2	15	W4134J	180	W4134JD	250
6000	30	9	1/2	15	W4136J	180	W4136JD	250
8000	30	12	1/2	15	W4138J	180	W4138JD	250
10000	30	15	3/4	15	W4131GJ	185	W4131GJD	250
15000	30	22.5	1	30	W41315J	230	W41315JD	300
20000	30	30	1	30	W4132GJ	230	W4132GJD	300
25000	30	37.5	1	45	W41325J	285	W41325JD	350
30000	30	45	1 1/2	45	W4133GJ	290	W4133GJD	355
40000	30	60	2	60	W4134GJ	340	W4134GJD	410
50000	30	75	3	95	W4135GJ	395	W4135GJD	470
2000	40	3	1	15	W4142J	190	W4142JD	270
4000	40	6	1	15	W4144J	190	W4144JD	270
6000	40	9	1	15	W4146J	190	W4146JD	270
8000	40	12	1	15	W4148J	190	W4148JD	270
10000	40	15	1	15	W4141GJ	190	W4141GJD	270
15000	40	22.5	1 1/2	30	W41415J	240	W41415JD	310
20000	40	30	1 1/2	30	W4142GJ	240	W4142GJD	310
25000	40	37.5	1 1/2	45	W41425J	290	W41425JD	365
30000	40	45	2	45	W4143GJ	295	W4143GJD	360
40000	40	60	2	60	W4144GJ	240	W4144GJD	410
50000	40	75	3	95	W4145GJ	395	W4145GJD	470
2000	50	3	2	15	W4152J	195	W4152JD	275
4000	50	6	2	15	W4154J	195	W4154JD	275
6000	50	9	2	15	W4156J	195	W4156JD	275
8000	50	12	2	15	W4158J	195	W4158JD	275
10000	50	15	2	15	W4151GJ	195	W4151GJD	275
15000	50	22.5	2	30	W41515J	245	W41515JD	320
20000	50	30	3	30	W4152GJ	255	W4152GJD	330
25000	50	37.5	3	45	W41525J	305	W41525JD	385
30000	50	45	3	45	W4153GJ	305	W4153GJD	385
40000	50	60	5	60	W4154GJ	370	W4154GJD	500
50000	50	75	5	95	W4155GJ	430	W4155GJD	500

Notes: 1) EDR = Square Feet of Equivalent Direct Radiation
 2) Capacity of Steam (lbs/hr) = EDR x 0.25

Continuación del anexo 1.

ELECTRIC PUMPS

W4200

Electric Condensate Pump with Cast Iron Receiver

PUMPS

CAPACITIES								
EDR	Discharge Pressure (PSIG)	Flow Rate (GPM)	Motor HP	Receiver Capacity (gallons)	Simplex Model #	Weight (lbs)	Duplex Model #	Weight (lbs)
2000	20	3	1/3	6	W4222 G	150	N/A	N/A
4000	20	6	1/3	6	W4224 G	150	N/A	N/A
6000	20	9	1/3	15	W4226 G	260	W4226 GD	295
8000	20	12	1/3	15	W4228 G	260	W4228 GD	295
10000	20	15	1/2	15	W42210 G	260	W42210 GD	295
15000	20	22.5	1/2	24	W42215 G	300	W42215 GD	335
20000	20	30	3/4	36	W42220 G	410	W42220 GD	445
25000	20	37.5	3/4	36	W42225 J	360	W42225 JD	420
30000	20	45	1	36	W42230 J	365	W42230 JD	430
40000	20	60	1 1/2	50	W42240 J	420	W42240 JD	500
50000	20	75	2	50	W42250 J	425	W42250 JD	510
2000	30	3	1/2	6	W4232 J	165	N/A	N/A
4000	30	6	1/2	6	W4234 J	165	N/A	N/A
6000	30	9	1/2	15	W4236 J	295	W4236 JD	340
8000	30	12	1/2	15	W4238 J	295	W4238 JD	340
10000	30	15	3/4	15	W42310 J	300	W42310 JD	345
15000	30	22.5	1	24	W42315 J	305	W42315 JD	340
20000	30	30	1	36	W42320 J	365	W42320 JD	430
25000	30	37.5	1	36	W42325 J	365	W42325 JD	430
30000	30	45	1 1/2	36	W42330 J	360	W42330 JD	440
40000	30	60	2	50	W42340 J	425	W42340 JD	510
50000	30	75	3	50	W42350 J	435	W42350 JD	525
2000	40	3	1	6	W4242 J	170	N/A	N/A
4000	40	6	1	6	W4244 J	170	N/A	N/A
6000	40	9	1	15	W4246 J	295	W4246 JD	340
8000	40	12	1	15	W4248 J	295	W4248 JD	340
10000	40	15	1	15	W42410 J	295	W42410 JD	340
15000	40	22.5	1 1/2	24	W42415 J	310	W42415 JD	390
20000	40	30	1 1/2	36	W42420 J	360	W42420 JD	440
25000	40	37.5	1 1/2	36	W42425 J	360	W42425 JD	440
30000	40	45	2	36	W42430 J	365	W42430 JD	450
40000	40	60	2	50	W42440 J	425	W42440 JD	510
50000	40	75	3	50	W42450 J	435	W42450 JD	525
2000	50	3	2	6	W4252 J	175	N/A	N/A
4000	50	6	2	6	W4254 J	175	N/A	N/A
6000	50	9	2	15	W4256 J	315	W4256 JD	395
8000	50	12	2	15	W4258 J	315	W4258 JD	395
10000	50	15	2	15	W42510 J	315	W42510 JD	395
15000	50	22.5	2	24	W42515 J	330	W42515 JD	415
20000	50	30	3	36	W42520 J	370	W42520 JD	460
25000	50	37.5	3	36	W42525 J	370	W42525 JD	460
30000	50	45	3	36	W42530 J	370	W42530 JD	460
40000	50	60	5	50	W42540 J	445	W42540 JD	535
50000	50	75	5	50	W42550 J	445	W42550 JD	535

Notes: 1) EDR = Square Foot of Equivalent Direct Radiation
2) Capacity of Steam (lbs/hr) = EDR x 0.25

423 Jones Boulevard • Ustick Alford Buhner Center • Folsom, PA • 19854 • Tel: 610-855-5132 • Fax: 610-855-5134
www.watsonmcdaniel.com

115

Fuente: Bombas eléctricas. www.watsonmcdaniel.com/v2/pdfs2010/pumps/ElectricCondensatePumps_112_115.pdf. Consulta marzo de 2015.

Anexo 2. Cotización de la bomba de condensado



COMPRES S.A.

COTIZACIÓN
48824

Nombre de Cliente: INDUSTRIA DE TUBOS Y PERFILES, S.A.
 Dirección: 9a Avenida 3-17 Zona 2 De Misco

Ciudad: GUATEMALA
 Depto.: GUATEMALA
 Código Cliente: 419
 Atención: Ing. Juan Morales
 Vendedor: Daniel Enrique Roldán Gómez
 Observaciones: BOMBA ELECTRICA DE CONDENSADO

CIUDAD DE GUATEMALA
2015-07-02

Validez: 15
 Días Crédito: 30
 Tiempo de Entrega: 6 A 7 SEMANAS
 Condición de Pago: Crédito

CODIGO	QTY	DESCRIPCION	UNITARIO	TOTAL
W4122G	1	BOMBA ELECTRICA PARA CONDENSADO, MARCA WATSON McDANIEL, TANQUE EN ACERO DE 15 GALONES, DESCARGA 3 GPM, PRESION DE DESCARGA 20 PSI, MOTOR TRIFASICO 230 Vac DE 1/3	Q 15,945.27	Q 15,945.27

QUINCE MIL NOVECIENTOS CUARENTA Y CINCO 27/100 QUETZALES

Subtotal:	Q	15,945.27
Total:	Q	15,945.27

PRECIOS INCLUYEN IVA
 Ventas Sujetas a Existencias



Autorizado: _____

Guatemala
30a. Calle 5-57, Zona 12 Colonia El Carmen
Guatemala, Guatemala
Teléfono +502 23181818 Fax +502 23181818
ventas@grupocompres.com

www.grupocompres.com

El Salvador
87 Av. Sur #140 Colonia Escalón
San Salvador, El Salvador
PBI +503 22488888 Fax +503 22488877
ventas@grupocompres.com

1 of 1

Fuente: Grupo Compres, S. A.

Anexo 3. Especificaciones de la bomba de agua Turbi Plus G5T

Linea TURBIPLUS

Aplicación

Estas bombas estan diseñadas para aquellos sistemas donde se requieren condiciones de carga altas y flujos bajos, como son por ejemplo, los sistemas de alimentación de calderas, que requieren presiones altas para poder obtener flujos menores de agua y alimentar calderas presurizadas.

Estas bombas manejan líquidos por encima del 20% en contenido de gases y vapores. Son ideales par bombear líquidos calientes, líquidos en estado gaseoso, líquidos con presión de vapor baja y líquidos volátiles.

Estas aseguran un flujo constante cuando sea necesario. Los alabes en la periferia del impulsor mantienen la misma cantidad de flujo a través de su recorrido en la carcaza, produciendo grandes cambios en la presión. Sus características de flujo constante la hacen una bomba ideal para sistema de enfriamiento, donde es de vital importancia que el flujo suficiente sea continuo, para disipar el calor que se genera por los cambios de presión.

La curva E-T, mostrada tiene un cambio de presión de 100 pies, mientras que el flujo varia únicamente 2 G.P.M. Para un rango de variación en la presión se mantiene un flujo casi constante y esto hace que todo el sistema sea confiable. Esta línea de bombas tiene las eficiencias mas altas para bajos flujos y una cobertura de presión más grande.

Estas bombas manejan capacidades hasta de 150 G.P.M. y producen hasta 950 pies de carga dinámica total, mientras que la carcaza soporta mecánicamente hasta 300 psi.



Fabricación Estándar

- Construcción en bronce
- Impulsor balanceado hidráulicamente
- Funcionamiento en varios sentidos.
- Rodamientos reengrasables.
- Mínima distancia entre rolineras.
- Sellos mecánicos para larga vida.
- Eje en acero inoxidable 416.
- Anillos de presión intercambiables.

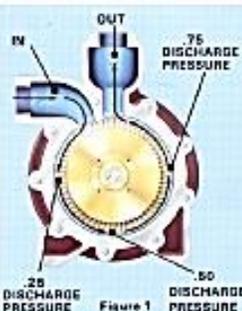
Fabricación Opcional

- Sellos de alta temperatura.
- Estopero de alta temperatura.
- Ensamblaje en base con motor.
- Curvas y rendimientos certificados.

Principios Operativos

Las bombas turbina derivan su nombre de las cavidades mecanizadas en la periferia del impulsor. El líquido a bombear es dirigido por el canal de la succión hacia las cavidades del impulsor para ser transportado e impulsado hacia la descarga, Ver Fig 1.

El impulsor trabaja en forma centrifuga y por momento cinetico para impulsar el líquido. Cabezas de mas de 200m pueden ser alcanzados con 2 etapas. El impulsor tiene tolerancias axiales mínimas para reducir la recirculación del agua. El flujo del líquido dentro del impulsor puede ser visto en la Fig 2. Este proceso se repite con cada ciclo, impartiendo mayor energía al líquido hasta que este es descargado.



Continuación del anexo 3.

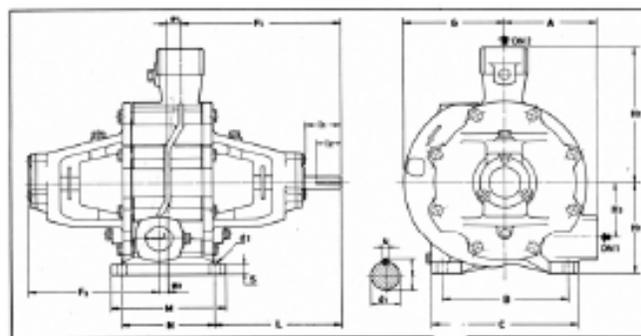
Corte, Lista de Partes y Dimensiones



LISTA DE PARTES TURBI

No.	Parte	Cant.	No.	Parte	Cant.
1	Conexión de engrase	2	24	Sello Mecánico **	2
2	Conexión de tubería	3	25	Tomillo prisionero **	4
3	Conexión de tubería	2	26	Anillo de Retención **	2
5	Retenedor externo	1	27	Empaquetadura *	10
6	Tuerca	1	29	Rodamiento	1
7	Retenedor interno	1	30	Retenedor de aceite	2
8	Cuña de acople	1	32	Pasador	2
9	Rodamiento	1	33	Eje	1
10	Tuerca *	4	34	Anillo Espaciador 2R	1
12	Sujetador *	4	35	Anillo Espaciador 43	1
13	Frensa Estopero *	2	36	Impulsor	2
14	Pin de seguridad *	4	38	Cuña Impulsor	2
15	Pasador *	4	39	Anillo de presión 3R	1
16	Espárrago *	4	40	Anillo de presión 42	1
17	Tomillo	16	41	Cuña Espaciador	1
18	Soporte Rodamiento (Estopero)	1	42	Carcasa	1
19	Soporte Rodamiento (Estopero)	1	44	Conexión de tubería	2
20	Soporte Rodamiento (Sello Mecánico)	1	45	Remache	2
21	Soporte Rodamiento (Sello Mecánico)	1	46	Placa	1
22	Anillo deflector	2	50	Casquillo Distanciador	1
23	O-ring	2			

NOTA: * Solo para bombas con Estopero (Para ver despiece completo ver el manual).

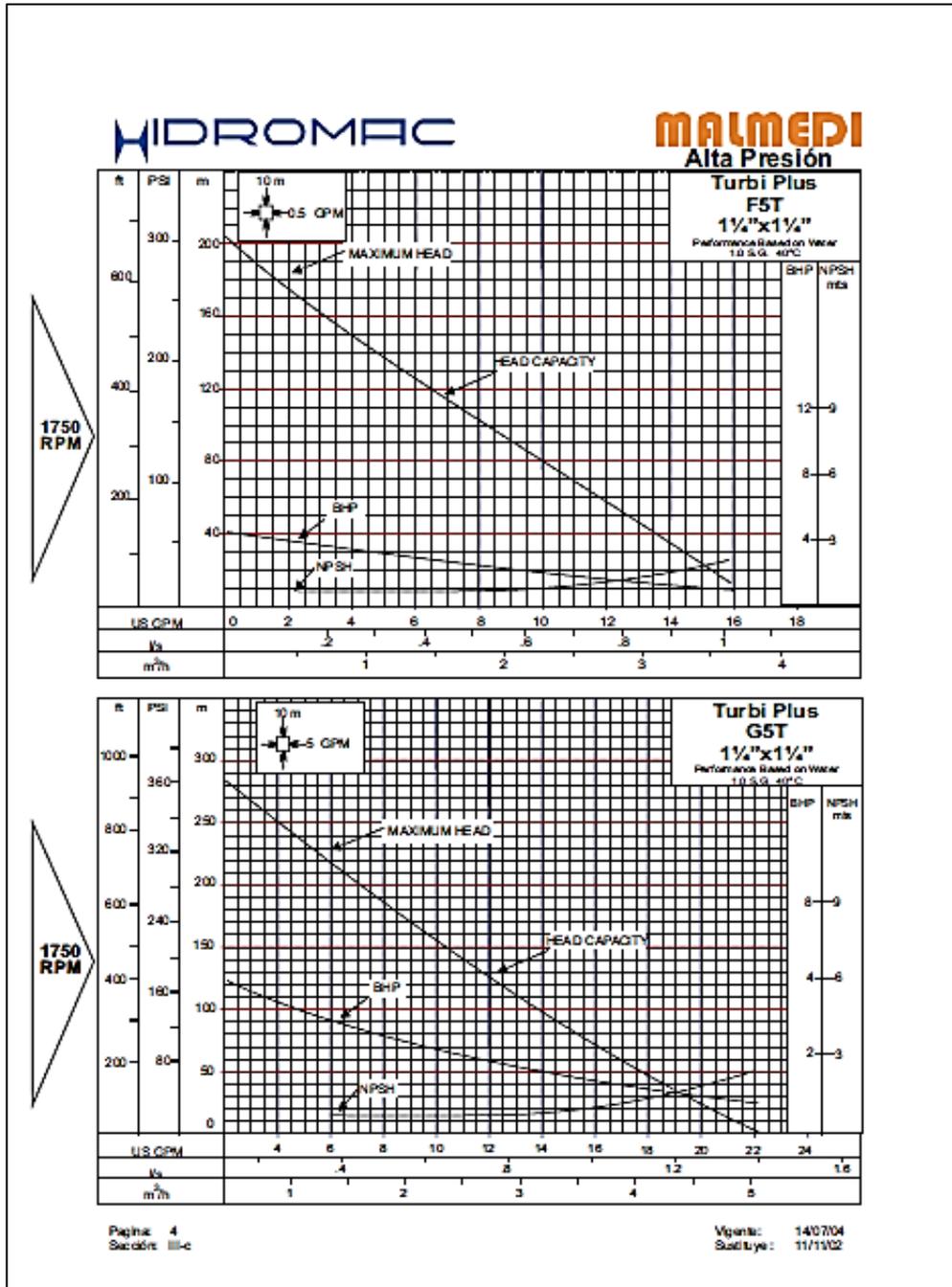


Tamaño	Dimensiones en mm														Punto de Eje						
No.	A	B	C	d2	e1	e2	F1	F2	G	H1	H2	H3	L	M	N	S	d1	L1	L2	t	u
100/1	100	140	165	10	—	—	153	121	85	90	160	76	110	114	87	14	14,28	32	28	15,80	3,17
100/2	114	140	170	10	17	16	153	121	108	90	140	51	116	140	108	14	14,28	32	28	15,80	3,17
125/2	130	89	206	11	19	13	230	183	142	132	190	80	216	160	133	16	16,75	53	35	19,90	3,17
150/2	165	152	200	14	—	—	308	248	152	160	190	60	213	230	190	16	24,63	60	38	27	4,76
150/2	178	152	260	16	—	—	350	290	165	160	190	51	216	306	268	18	24,63	60	38	27	4,76

RE: 1448
Corte
Dibujo Mecánico Roto Nuevo



Continuación del anexo 3.



Fuente: Grupo calderas. http://www.grupojpcalderas.com/images/pdf/Linea_Turbi-Plus.pdf.
Consulta: mayo de 2015.

Anexo 4. Cotización de la bomba de agua

		10 CALLE 0-52 ZONA 9 GUATEMALA, GUATEMALA, C.A. 01009 P.O. BOX (502) 2333-5555 FAX: (502) 2334-7149 Y 2334-7150 www.sidasa.net E-mail: info@sidasa.net		
SERVICIOS INDUSTRIALES Y AGRICOLAS S.A.		Guatemala, 3 de julio de 2015 / 10:36:31 a.m.		
Número de cotización: MR15-1696		Señores: INDUSTRIA DE TUBOS Y PERFILES, S.A. (INTUPERSA) 9 Ave. 3-17 zona 2 de Mixco Col. Alvarado Atención: Ing. Juan Morales Teléfono: 2229-3867 jamorales@acerasidguatemala.com		
De acuerdo a su solicitud, tenemos el agrado de cotizarle los siguientes repuestos:				
Item	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	Sistema de alimentación de Agua para caldera con bomba Hidromac Turbi GST acoplado a motor de 3 Hp en su base metálica	1	Q29,500.00	Q29,500.00
Total puesto en bodegas de SIDASA				Q29,500.00
OBSERVACIONES: Condiciones de pago: Orden de compra y pago a 30 días fecha de factura. Tiempo de entrega: De dos a tres días hábiles. Válidez de la oferta: 15 días. Notas Importantes: - No incluye instalación. - El emitir una orden de compra con base en esta cotización, implica la completa aceptación de las cantidades, precios, especificaciones técnicas de los equipos y sus componentes, forma de pago y condiciones generales descritas en la misma, las cuales no pueden ser cambiadas posteriormente a su aceptación y aprobación. La posterior cancelación de la orden de compra emitida está sujeta a un cobro o a la pérdida del anticipo recibido, de acuerdo a la política del proveedor de los equipos.				
Atentamente,				
<p style="text-align: center;"> _____ Byron Arroya División de Materiales y Repuestos </p>				
-1-				

Fuente: Sidasa.

Anexo 5. Especificaciones de los manómetros de tubo de Bourdon

REOTEMP
Series PG25C

2.5" Industrial Stainless/Brass Gauge

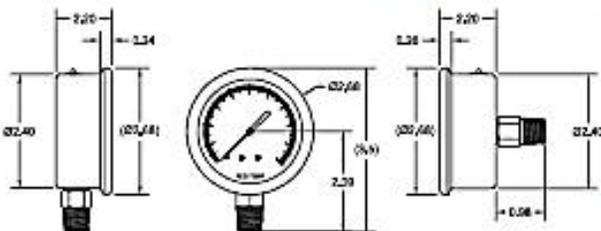
INSTRUMENTS
Measuring your world since 1965

REOTEMP's Series PG gauge is an economical choice where ambient corrosion and vibration are of concern. It's stainless steel case and ring offer excellent corrosion resistance, and the PG is fillable for vibration or pulsation applications. Suitable for all fluids compatible with copper alloys.



Features/Benefits:

- Stainless Steel Case
- Copper Alloy Wetted Parts
- Glycerine Filled or Dry/Fillable
- Convenient Panel Mounting Adapters



Specifications:

Case: Stainless Steel
 Ring: Stainless Steel Crimped
 Wetted Material: Copper Alloy
 Lens: Plastic
 Dial: Aluminum, Black on White
 Temperature: 0° to 150°F
 Accuracy: 3-2-3%, Grade B

HOW TO ORDER

PG — 25 C 2 A 4 P23 G

Dial: 25 = 2.5"	Case: C = S.S. Crimped Ring	Tube & Socket: 2 = Copper Alloy	Mounting: A = Bottom B = Bottom/Rear Flange C = Center Back D = Back 'U' or 'O' Clamp E = Back/Front Flange	Connection: 4 = 1/4" NPT	Range Code: See Page 12 of Press. Product Catalog for Range Codes Vac. to 6,000 PSI	Filling: -- = Dry G = Glycerine Other fills on request	Options: ■ Custom Logo Dials
---------------------------	---------------------------------------	---	---	------------------------------------	--	--	--

Distributed by:

Measuring your world since 1965

REOTEMP Instruments
 Ph (800)648-7737
 Fx (858)784-0720

San Diego, CA U.S.A.
 sales@reotemp.com
 www.reotemp.com

PG25C/PB.0510

Fuente: Esinsa.

Anexo 6. Especificaciones del termómetro bimetálico

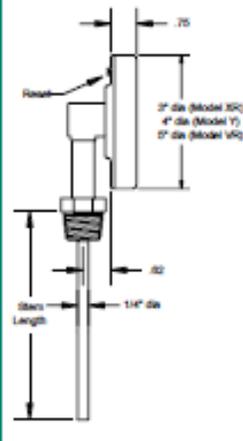


Bimetal Thermometers

Industrial 3", 4", 5" Dial

Bottom Connected (Straight Form)





REOTEMP Straight Form thermometers are ideal for side and elevated installations on tops or sides of tanks or pipes.



Standard Features

- Bottom, Top, Right or Left Side Mounting
- All Stainless Steel Construction
- Hermetically Sealed (ASME B40.3)
- Accurate to 1% of Full Scale
- Standard External Reset
- Silicone Fillable for Vibration

How to Order

XR
060
1
F43
SF

Models	Stem Length	Connection	Temperature Ranges <small>See pg. 13 for full list.</small>	Options
Standard Models		Standard Threaded	Fahrenheit Ranges	
XR = Model XR (3" dial, reset)	025 = 2.5"	1 = 1/2" NPT (std.)	F23 -40 TO 160°F	PS = Pointed Stem
YY = Model Y (4" dial, reset)	040 = 4"	4 = 1/4" NPT	F58* 25 TO 125°F	SF = Silicone Fill (max temp 550°F)
VR = Model VR (5" dial, reset)	060 = 6"	5 = 3/4" NPT adapter	F43 0 TO 200°F	SS = 316 SS Stem
	090 = 9"		F47 0 TO 250°F	S3 = 3/8" dia. Stem
	120 = 12"		F63 50 TO 300°F	PC = Acrylic Window
	150 = 15"		F67 50 TO 500°F	PY = Polycarbonate Window
Non-Reset Models		Sanitary	Celsius Ranges	TG = Tempered Glass Window
XX = Model X (3" dial, no reset)	180 = 18"		C23 -40 TO 70°C	MM = Max/Min Pointer
YN = Model YN (4" dial, no reset)	240 = 24"		C55* 0 TO 50°C	90 = 9 O'Clock Stem (left side)
VV = Model V (5" dial, no reset)	300 = 30"		C43 0 TO 100°C	33 = 3 O'Clock Stem (right side)
	360 = 36"		C47 -20 TO 120°C	12 = 12 O'Clock Stem (top mount)
	-Intermediate lengths available up to 90"		C59 10 TO 150°C	
	-Specify length in inches + tenths	For more information on Sanitary Thermometers see page 12	C67 10 TO 260°C	
			C69 10 TO 290°C	
			C81 50 TO 400°C	
			C85 100 TO 500°C	
			Dual F/C Ranges	
			D23 -40 TO 160°F & -40 TO 70°C	
			D58* 25 TO 125°F & -5 TO 50°C	
			D43 0 TO 200°F & -10 TO 90°C	
			D47 0 TO 250°F & -20 TO 120°C	
			D63 50 TO 300°F & 10 TO 150°C	
			D67 50 TO 500°F & 10 TO 260°C	
			D69 50 TO 550°F & 10 TO 290°C	
			D81 150 TO 750°F & 70 TO 400°C	
			D85 200 TO 1000°F & 100 TO 500°C	
			* Not available in 2.5" stem.	
				For Thermowells see pg. 14

REOTEMP INSTRUMENT CORPORATION

Telephone: (800) 648-7737 FAX (858) 784-0720 • sales@reotemp.com • www.reotemp.com

Fuente: Esinsa.

Anexo 7. Cotización del manómetro de tubo de Bourdon y termómetro bimetalico

											
										FECHA: 16/06/2015 COTIZACION No. 806-1506013 REQUERIMIENTO No. -	
EMPRESA: HUGO LÓPEZ ATENCIÓN: Hugo López TELÉFONO: 5483-4119 E-MAIL: hugolopez1589@gmail.com											
REF: Indicador de Presión y Termómetro Bimetálico											
Ítem	Cantidad	Catálogo	Descripción	Precio Unitario	Total						
A	1	PG25C2A4P19	REOTEMP Industrial Stainless / Brass Gauge 2.5" Stainless Steel Case with Crimped Ring (Fillable) Copper Alloy (Brass) Tube and Socket 1/4"NPT Bottom Connection Scale: 0-160 psi 2-1.6-2% Accuracy (Grade B+)	Q. 185.31	Q. 185.31						
B	1	XR0601C43	REOTEMP Industrial Bimetal Dial Thermometer, 3" Dial Bottom Conn./Reset, 6" Stem, 1/2" NPT (fits std. thermowell), 0/100°C	Q. 916.31	Q. 916.31						
					UN MIL CIENTO UNO QUETZALES CON 62/100	Q. 1,101.62					
CONDICIONES DE PAGO:		AL CONTADO (SUJETO A ORDEN DE COMPRA)									
TIEMPO DE ENTREGA:		ENTREGA DE 6 A 8 SEMANAS (SUJETO A ORDEN DE COMPRA)									
		Nota: Tiempos pueden mejorar según manejo de stock									
NO INCLUYE INSTALACIÓN, MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA											
VALIDEZ DE LA OFERTA:		15 DÍAS									
PRECIOS CON IVA INCLUIDO											
Cualquier sugerencia para mejorar nuestro servicio puede ser dirigida a: servicioalcliente@esinsa.com											
Mario Delgado Asesor Técnico de Ventas Automatización mario.delgado@esinsa.com						Jose Manuel Porras Ventas Industriales jmanuel.porras@esinsa.com					
www.esinsa.com											

Fuente: Esinsa.

Anexo 8. Cotización del aislante térmico para la tubería



Guatemala, 16 de Junio de 2015

Señores:
HUGO LOPEZ
Ciudad.

Atr: HUGO LOPEZ

Estimado Hugo

Por este medio es un gusto saludarle y a la vez presentarle nuestra oferta por el siguiente producto:

CANTIDAD	PRODUCTO	PRECIO UNITARIO Incluye I.V.A.	TOTAL
53 Unidad	FG PIPE SSLII M 1/2" D X 1" E OWENSCORNING	Q. 35.00	Q. 1,855.00
1 Unidad	FG PIPE SSLII M 3/4" D X 1" E OWENSCORNING	Q. 39.00	Q. 39.00
17 Unidad	FG PIPE SSLII M 1" D X 1" E OWENSCORNING	Q. 42.00	Q. 714.00
80 Unidad	FG PIPE SSLII M 1 1/2" D X 1" E OWENSCORNING	Q. 54.00	Q. 4,320.00
Total:			6,928.00

ENTREGA: Inmediato
FORMA DE PAGO: CONTADO
VALIDEZ DE LA OFERTA: Sujeto a cambio sin previo aviso
OBSERVACIONES:

Cualquier información adicional que requieran no dude en comunicarse con nosotros. Sin más de momento, aprovechamos la oportunidad para enviarles un cordial saludo.

Atentamente,

ING. LISA MARIA JUAREZ
Gerente de Ventas
Cel. 53184568

ING. ALEJANDRA CORDOVA
Ejecutivo (a) de Ventas
Cel. 52083965

Esta cotización es enviada desde mi celular.

Fuente: Grupo Proquinsa.

