



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

**PROPUESTA PARA OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE VAPOR EN LA  
PRODUCCIÓN TEXTIL DE PLANTA 2 TENNAT, S.A. GUATEMALA**

**Diego Francisco Rodas Trujillo**

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, noviembre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA PARA OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE VAPOR EN LA  
PRODUCCIÓN TEXTIL DE PLANTA 2 TENNAT, S.A. GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**DIEGO FRANCISCO RODAS TRUJILLO**

ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
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:

### **PROPUESTA PARA OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE VAPOR EN LA PRODUCCIÓN TEXTIL DE PLANTA 2 TENNAT, S.A. GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 26 de marzo de 2019.

**Diego Francisco Rodas Trujillo**

Guatemala, 23 de febrero de 2021  
REF.EPS.DOC.73.02.2021.

Ing. Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Argueta Hernández.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Diego Francisco Rodas Trujillo** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 201020836, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **PROPUESTA PARA OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE VAPOR EN LA PRODUCCIÓN TEXTIL DE PLANTA 2 TENNAT, S.A.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

  
Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Mecánica



c.c. Archivo  
EDSZ/ra

Universidad de San Carlos de  
Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Unidad de EPS

Guatemala, 23 de febrero de 2021  
REF.EPS.D.42.02.2021

Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Morales Baiza:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **PROPUESTA PARA OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE VAPOR EN LA PRODUCCIÓN TEXTIL DE PLANTA 2 TENNAT, S.A.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Diego Francisco Rodas Trujillo** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

  
Ing. Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS



OAH/ra



Guatemala, 16 de marzo de 2021

Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Morales Baiza:

Por este medio atentamente comunico que se ha realizado la revisión y aprobación del informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **PROPUESTA PARA OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE VAPOR EN LA PRODUCCIÓN TEXTIL DE PLANTA 2 TENNAT, S.A. GUATEMALA.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Diego Francisco Rodas Trujillo**

Por tal motivo solicito darle el trámite correspondiente.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

Una firma manuscrita en tinta que parece decir 'Esdras'.

Ing. Esdras Miranda Orozco  
COLEGIADO 4837

Ing. Esdras Miranda Orozco  
Escuela de Ingeniería Mecánica

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA PARA OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE VAPOR EN LA PRODUCCIÓN TEXTIL DE PLANTA 2 TENNAT, S.A.**, del estudiante **Diego Francisco Rodas Trujillo**, CUI **2079308480101** Reg. Académico **201020836** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

***"Id y Enseñad a Todos"***



Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, marzo de 2021  
/aej



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

**Decanato**  
**Facultad de Ingeniería**  
**24189101- 24189102**  
**secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt**

DTG. 686.2021

La Decana 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, al Trabajo de Graduación titulado: **ROPUESTA PARA OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE VAPOR EN LA PRODUCCIÓN TEXTIL DE PLANTA 2 TENNAT, S.A. GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Diego Francisco Rodas Trujillo**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, noviembre de 2021.

AACE/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por brindarme la vida y las oportunidades para llevar a cabo este sueño.
<b>Mi madre</b>	María del Carmen Rodas, por su esmero, esfuerzo y dedicación para conmigo, así como también su apoyo incondicional.
<b>Mi tía</b>	Mónica Estefanía Rodas, por ser una importante influencia en mi vida, por su tolerancia y su apoyo incondicional.
<b>Mi hermana</b>	María Fernanda Rodas, por su apoyo y su tolerancia en la vida.
<b>Mi esposa</b>	Abigail Barahona por su amor, sus atenciones, apoyo y compañía. Por ser parte de mi vida en etapas importantes.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser la casa de estudios que me brindó las oportunidades para desarrollar el aprendizaje.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por ser una facultad de excelencia académica y mejora continua.
<b>Mis amigos de la Facultad</b>	Por las horas de estudio y convivencia, por el apoyo y por la amistad.
<b>Dios</b>	Por la sabiduría, la vida y las oportunidades.
<b>Tennat, S.A.</b>	Por la oportunidad de desarrollar mi proyecto en la empresa.
<b>Departamento de Mantenimiento Tennat</b>	Por el apoyo y el compañerismo durante mi estancia en el lugar.
<b>Mis amigos</b>	Todos aquellos que han convivido conmigo en buenos y malos momentos, por el apoyo y las experiencias.
<b>Mi familia</b>	Por su paciencia, apoyo, consejos, tolerancia y por todas las experiencias vividas para alcanzar este triunfo.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Descripción de la empresa.....	1
1.1.1. Ubicación.....	1
1.1.2. Historia.....	2
1.1.3. Misión.....	4
1.1.4. Visión.....	4
1.1.5. Valores.....	4
1.1.6. Organigrama.....	4
1.2. Generadores de vapor (calderas).....	5
1.2.1. Calderas pirotubulares.....	8
1.2.2. Calderas acuotubulares.....	10
1.2.3. Eficiencia energética de calderas.....	12
1.3. Vapor.....	12
1.3.1. Características del vapor.....	13
1.3.2. Clasificación del vapor.....	14
1.3.3. Pérdidas energéticas.....	15
1.3.4. Fugas de vapor.....	17
1.4. Tratamiento de las aguas de caldera.....	18

1.5.	Corrosión .....	21
1.5.1.	Corrosión por oxígeno .....	21
1.5.2.	Corrosión cáustica.....	23
1.5.3.	Corrosión en líneas de retorno de condensado .....	24
1.6.	Incrustaciones.....	24
1.7.	Arrastre de condensado .....	28
1.8.	Identificación de tuberías .....	29
1.8.1.	Norma ANSI ASME A13.1 .....	30
1.9.	Accesorios .....	31
1.9.1.	Trampas de vapor .....	32
1.9.2.	Clasificación de las trampas de vapor .....	33
1.9.2.1.	Termostática.....	33
1.9.2.2.	Mecánica .....	34
1.9.2.3.	Termodinámica.....	35
1.9.3.	Importancia de las trampas de vapor.....	36
1.9.4.	Tuberías .....	39
1.9.5.	Juntas de dilatación.....	40
1.9.6.	Válvulas.....	41
1.9.6.1.	Válvulas de compuerta .....	41
1.9.6.2.	Válvulas de globo .....	42
1.9.6.3.	Válvulas de bola .....	42
1.9.6.4.	Válvulas de retención .....	43
1.9.7.	Filtros .....	43
1.9.8.	Material aislante .....	45
2.	FASE DE INVESTIGACIÓN.....	47
2.1.	Diagnóstico de la situación actual .....	47
2.1.1.	Situación actual de la red de distribución de vapor .....	47

2.1.2.	Descripción de la instalación.....	48
2.1.3.	Equipos que operan con vapor .....	49
2.1.4.	Consumo de vapor por equipo .....	51
2.1.5.	Plano de vapor situación actual .....	54
2.1.6.	Descripción de la tubería actual .....	56
2.1.7.	Inventario y descripción de los equipos de generación de vapor .....	57
2.2.	Integración de costos.....	58
2.2.1.	Costos de operación .....	58
2.2.2.	Costos de mantenimiento preventivo .....	62
2.2.3.	Costo beneficio .....	63
3.	FASE TÉCNICO PROFESIONAL.....	65
3.1.	Propuestas de optimización red de suministro de vapor .....	65
3.1.1.	Plan de mantenimiento preventivo de la red de suministro de vapor.....	65
3.1.2.	Identificación de tubería.....	68
3.1.2.1.	Reparación de fugas .....	70
3.1.2.2.	Costo por fugas.....	71
3.1.2.3.	Diseño de la red de vapor .....	72
3.1.2.4.	Propuesta de diseño de red de vapor...74	
3.1.2.5.	Determinar diámetro de tuberías .....	75
3.1.2.6.	Derivaciones .....	77
3.1.3.	Aislamiento térmico.....	78
3.1.4.	Golpe de ariete .....	81
3.1.5.	Selección de junta de expansión.....	83
3.1.6.	Dimensiones de piernas colectoras.....	85
3.1.7.	Eliminación de aire.....	87
3.1.7.1.	Eliminador termostático de aire .....	89

3.1.8.	Costos de mantenimiento preventivo.....	90
4.	FASE DE DOCENCIA.....	93
4.1.	Introducción al tema de vapor .....	93
4.2.	Importancia del buen manejo del vapor.....	95
4.3.	Importancia de eliminar fugas de vapor.....	96
4.4.	Sentido de urgencia en fallas .....	97
	CONCLUSIONES .....	99
	RECOMENDACIONES .....	101
	BIBLIOGRAFÍA .....	103
	ANEXOS .....	105

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Ubicación Tennat, S.A.....	2
2.	Organigrama simple Tennat, S.A. ....	5
3.	Caldera típica.....	7
4.	Diseño para línea principal de cuatro calderas – disposición mejorada.....	8
5.	Caldera de dos pasos con cámara seca .....	9
6.	Configuración de caldera acuotubular .....	11
7.	Pérdidas de vapor por longitud de fuga (lanza) .....	16
8.	Pérdida de vapor por fugas .....	18
9.	Corrosión por oxígeno.....	22
10.	Corrosión cáustica en fogón de una caldera .....	23
11.	Incrustaciones en tubos de humo.....	25
12.	Acumulación incrustaciones en fondo cuerpo presión caldera .....	26
13.	Efecto de incrustaciones y flujo de calor en la temperatura del metal.....	27
14.	Cámara de vapor interna de caldera con irregularidad en las paredes.....	29
15.	Norma en Inglés ANSI/ASME A13.1 .....	30
16.	Trampa de vapor termostática.....	34
17.	Trampa de vapor mecánica de boya .....	35
18.	Trampa de vapor termodinámica.....	36
19.	Instalación de un purgador en un tramo recto de tubería .....	38
20.	Ejecución correcta de las reducciones de tubería .....	39

21.	Filtro de tubería de vapor .....	45
22.	Plano de vapor red de vapor planta 2 Tennat, S.A. ....	55
23.	Configuración de una caldera acuotubular Tennat, S.A. ....	58
24.	Plano de la red de vapor actual .....	73
25.	Propuesta de diseño de red de vapor .....	74
26.	Modo correcto de ejecutar una derivación en una tubería principal .....	78
27.	Espesores mínimos según temperatura y material .....	80
28.	Formación de una bolsa sólida de agua .....	82
29.	Dilatación lineal en un tramo de tubería .....	84
30.	Eliminación de aire en el extremo .....	88
31.	Eliminador de aire para sistemas de vapor AV13 .....	89
32.	Esquema básico de una red de distribución de vapor .....	95

## TABLAS

I.	Tabla de longitudes equivalentes por accesorio .....	32
II.	Diámetros internos de tubería.....	40
III.	Inventario de equipos que consumen vapor, planta 2 .....	50
IV.	Consumo de vapor por equipo.....	51
V.	Descripción de calderas.....	57
VI.	Consumo de combustible .....	59
VII.	Costo por consumo de combustible para producción de vapor .....	59
VIII.	Costo de recurso humano.....	59
IX.	Costo de vapor caldera Bazuki .....	60
X.	Costo de vapor caldera china 10 Ton Vapor/h .....	60
XI.	Costo de vapor caldera Cleaver Brooks.....	61
XII.	Resumen del costo de vapor por caldera.....	61
XIII.	Costo salario de técnicos.....	62
XIV.	Tabla guía de ahorro mensual en fugas.....	63

XV.	Colores y etiquetas para identificar tubería .....	68
XVI.	Tabla. Costos de fugas .....	71
XVII.	Cálculos de diámetro de tubería.....	76
XVIII.	Coeficientes de dilatación lineal para algunos materiales.....	85
XIX.	Tabla guía de piernas colectoras .....	86
XX.	Condiciones límite eliminador de aire termostático AV13.....	90
XXI.	<i>Stock</i> propuesto de mantenimiento preventivo .....	90



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Bar</b>	Bar (Unidad de presión)
<b>D</b>	Diámetro
<b><math>\Delta P</math></b>	Diferencia de presión
<b>F</b>	Factor de presión
<b>FU</b>	Factor de utilización
<b>Q</b>	Flujo másico (kg/h)
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>h</b>	Hora
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>L</b>	Longitud
<b>Lb</b>	Libra
<b>PSI</b>	Libras por pulgada cuadrada
<b>Le</b>	Longitud equivalente
<b>m</b>	Metro
<b>mm</b>	Milímetro
<b><math>\pi</math></b>	Pi. (3.1416)
<b>P</b>	Presión
<b>ppm</b>	Partículas por millón
<b>Pulg</b>	Pulgada
<b>s</b>	Segundo
<b>V</b>	Velocidad



## GLOSARIO

<b>Caldera</b>	Recipiente metálico cerrado que se emplea para calentar o evaporar líquidos.
<b>Caudal</b>	Cantidad de un fluido que discurre en un determinado lugar por unidad de tiempo.
<b>Consumo</b>	Acción y efecto de consumir o gastar energía.
<b>Corrosión</b>	Desgaste paulatino de los cuerpos metálicos por acción de agentes externos, persista o no su forma.
<b>Entalpía</b>	Magnitud termodinámica de un cuerpo, igual a la suma de su energía interna más el producto de su volumen por la presión exterior.
<b>Hectárea</b>	Medida de superficie equivalente a 100 áreas.
<b>Incrustación</b>	Cosa incrustada.
<b>Mantenimiento</b>	Conjunto de operaciones y cuidados necesarios y cuidados necesarios para que las instalaciones, edificios, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente.

<b>Presión</b>	Magnitud física que expresa la fuerza ejercida por un cuerpo sobre la unidad de superficie y cuya unidad en el sistema internacional es el pascal.
<b>Red</b>	Conjunto de elementos organizados para determinado fin.
<b>Sobredimensionar</b>	Dar a algo dimensiones excesivas.
<b>Válvula</b>	Mecanismo que regula el flujo de la comunicación entre dos partes de una máquina o sistema.
<b>Vapor</b>	Fluido gaseoso cuya temperatura es inferior a su temperatura crítica. Su presión no aumenta al ser comprimido, sino que se transforma parcialmente en líquido.

## RESUMEN

El vapor de agua es un insumo muy usado en la industria, en este caso, la aplicación que tiene es textil. Actualmente existe la problemática de falta de vapor en la demanda de las máquinas. Esto puede deberse a varias causas como fugas, condensado, aislante no funcional, entre otras.

Se pretende hacer un estudio de la red de vapor para conocer el estado actual y cuáles son las posibles propuestas para mejorar el sistema.

Hay que conocer la red de vapor pues no está identificada. Para esto se harán recorridos en planta y uso de planos de tubería de vapor.

Así mismo, debe analizarse la calidad del vapor, pues no puede ser un vapor húmedo sino más bien saturado seco, que es lo que requieren las máquinas. Para esto se necesita purgar líneas y revisar que las trampas de vapor funcionen correctamente, también que no haya fugas en el sistema, pues esto ocasiona que no se cumpla con lo deseado.

Finalmente, se pretende poder generar propuestas que sean rentables y funcionales para optimizar la red de vapor y tener mejorías considerables.



## **OBJETIVOS**

1. Realizar una evaluación y diagnóstico de la red de vapor para identificar las deficiencias del sistema.
2. Proponer mejoras para la optimización de la red de vapor de planta 2 Tennat, S.A.
3. Evidenciar la importancia de la reparación de fugas de vapor y demás causas que afecten el transporte del mismo.



## INTRODUCCIÓN

El vapor es una de las formas de energía más utilizadas en la industria. Como cualquier otra, tiene un costo para generarla; sin embargo, es un insumo energético factible de generar y utilizar, a pesar de que su costo no es bajo. Sus aplicaciones en la industria son extensas y van desde generación de energía eléctrica, pasando por procesos alimenticios o textiles hasta terminar con procesos de mayor delicadeza como los hospitalarios.

La red de distribución muchas veces se ve afectada por el ambiente (en caso de no estar aislada correctamente) y por ausencia de mantenimiento (provoca llaves atrancadas y accesorios dañados). Actualmente son varios los factores que afectan a una red de vapor. Una derivación no adecuada puede provocar que se introduzca el condensado a la máquina y no precisamente el vapor; los golpes de ariete provocan daños a la red, las trampas de vapor en mal estado provocan que no se elimine el condensado de las líneas. La falta de eliminadores de aire provoca que la calidad del vapor no sea la adecuada y, finalmente, una red subdimensionada o sobredimensionada genera caídas de presión y mal transporte del fluido.

Al tener una red de vapor en mal estado, se afecta el insumo y esto incide en los procesos textiles de planta 2 Tennat, S.A. Con base en este análisis, el presente trabajo busca proponer mejoras de la red de vapor, recopila los resultados de estudios realizados con el fin de proponer mejoras para satisfacer las crecientes necesidades de la empresa.



# **1. GENERALIDADES**

## **1.1. Descripción de la empresa**

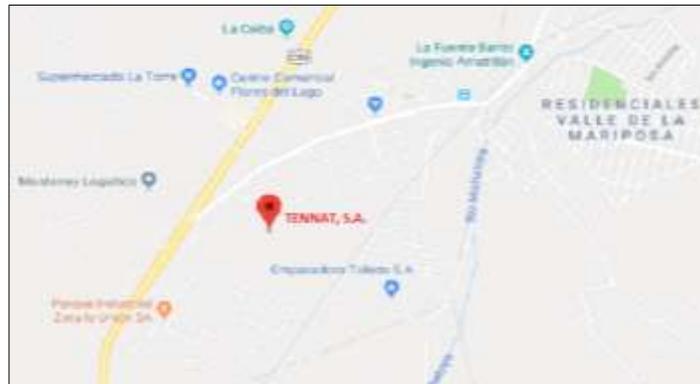
Tennat, S.A. es una empresa dedicada a la producción y comercialización de textiles. Está localizada en Guatemala, el país más productivo y desarrollado en textiles de Centroamérica, el cual también pertenece a la Cuenca del Caribe.

La fábrica se caracteriza por su versatilidad de producción y flexibilidad para acomodar las necesidades de los clientes locales y del extranjero, además, por adaptarse a los cambios de la moda en el mercado. Mantiene el más alto estándar de calidad, cumpliendo con el objetivo de brindar el mejor producto a sus clientes.

### **1.1.1. Ubicación**

La industria Tennat, S.A. está ubicada en el km 30,5 Carretera al Pacífico, Amatitlán, con una extensión territorial de 4 hectáreas.

Figura 1. **Ubicación Tennat, S.A.**



Fuente: elaboración propia, empleando Google Maps 2020.

### **1.1.2. Historia**

La industria textil se dedica a la elaboración de telas, hilos, fibras y otro tipo de productos relacionados, los cuales son comercializados de manera masiva. Esta actividad se ha convertido en un generador de ganancias para varios países beneficiados de manera económica, además de ser uno de los sectores que genera mayor cantidad de empleos directos o indirectos. Es importante aclarar que, en el pasado, el término de textil se utilizaba solo para denominar a las telas que se encontraban tejidas, aunque con el desarrollo de la industria se usa también para designar a las telas que se obtienen a partir de otros procesos.

La industria textil de Guatemala fue el mayor generador de divisas para el país en 2011, con más de 1 500 millones de quetzales. Por otro lado, es una fuente de empleo con cerca de 100 000 plazas que ofrece un ingreso estable a sus empleados, representando así uno de los productos que Guatemala exporta más productivos para el país.

La industria ubicada en el km 30,5 Carretera al Pacífico, Amatlán, se dedica a la producción y comercialización de textiles desde hace 60 años. Tiene una extensión territorial de 4 hectáreas, dentro de las cuales cuenta con su propio abastecimiento de energía eléctrica y agua. Se posiciona como una de las mayores industrias exportadoras a nivel centro americano. Se caracteriza por su versatilidad de producción y flexibilidad para acomodar las necesidades de los clientes locales y del extranjero; además, por adaptarse a los cambios de la moda en el mercado, mantener el más alto estándar de calidad y cumplir con el objetivo de brindar el mejor producto a sus clientes.

La empresa está verticalmente integrada, dividida en cuatro áreas principales, las cuales son: hilatura, tejeduría, teñidos y acabados.

Una de las ventajas con que cuenta la fábrica es que ha estado presente en el mercado de Estados Unidos desde el año 1974, lo que le permite que sus productos lleguen por mar en solamente 2 días a los puertos de Miami o Nueva Orleans, o 2 horas para llegar a Miami o Dallas por avión.

Entre otros países a los cuales se exportan sus productos se encuentran México, Canadá, Perú, Alemania y países de Centroamérica. Con base en dicho alcance a diferentes mercados, es necesario que la fábrica cuente con un sistema de producción al nivel de las exigencias de venta. Principalmente debe enfocarse en la optimización de tiempo que conlleva gestionar, lo cual tiene por objetivo el análisis periódico de la forma en que se realizan las actividades y procesos en una organización. Con ello se busca un mejoramiento continuo de los resultados sin perder de vista que el producto tiene como principal objetivo el satisfacer las expectativas y necesidades del consumidor.

### **1.1.3. Misión**

Ofrecer una amplia cartera de productos y servicios textiles que satisfagan las necesidades de los clientes.

### **1.1.4. Visión**

Ser una empresa textil consolidada y reconocida, cuyo desempeño sea apreciado por nosotros, los clientes, proveedores.

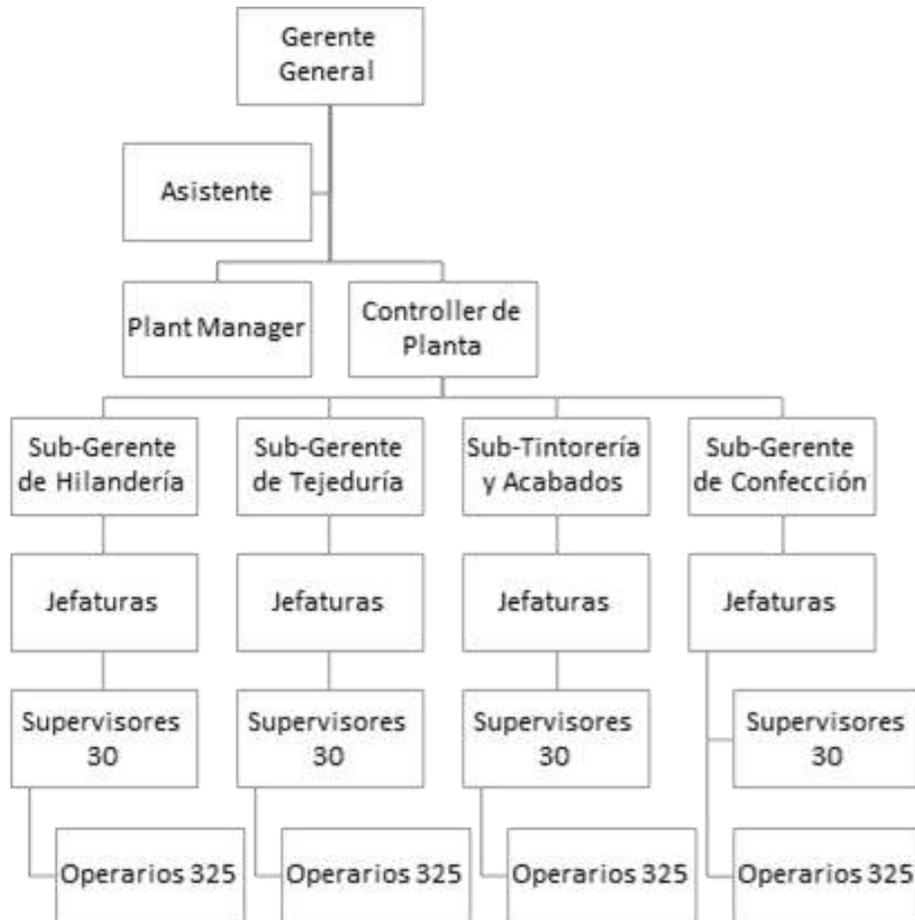
### **1.1.5. Valores**

- Vocación de servicio
- Creatividad
- Excelencia
- Responsabilidad
- Transparencia e Integridad

### **1.1.6. Organigrama**

Tennat S.A tiene una estructura organizacional general definida que se presenta en la siguiente figura.

Figura 2. Organigrama simple Tennat, S.A.



Fuente: Departamento de Recursos Humanos, Tennat, S.A.

## 1.2. Generadores de vapor (calderas)

Las calderas o generadores de vapor son la parte más importante del circuito de vapor, pues es el lugar donde se genera este último. Se puede definir caldera como un recipiente en el que se transfiere la energía de calorífica de un combustible a un líquido. En el caso del vapor saturado, la caldera proporciona también energía calorífica para producir un cambio de la fase de líquido a vapor.

Desde la antigüedad se ha tenido una alta seguridad en la sala de calderas debido a que se maneja cierta peligrosidad. Actualmente se exige que la planta trabaje eficazmente, y se puede hacer igualando lo máximo posible el suministro a la demanda. En algunos casos, esto puede significar calderas que trabajan continuamente, o en otros, paradas durante intervalos largos o cortos. De cualquier modo, la tecnología moderna permite al ingeniero de la planta escoger el régimen de la caldera confiadamente para ajustarse mejor a su aplicación, con sistemas de control capaces de proporcionar el grado requerido de eficacia, integridad y seguridad.

La caldera es normalmente el equipo más grande en un circuito de vapor. El tamaño de la misma varía de acuerdo a la aplicación. En una instalación grande donde las cargas de vapor varían puede hacerse uso de varias calderas.

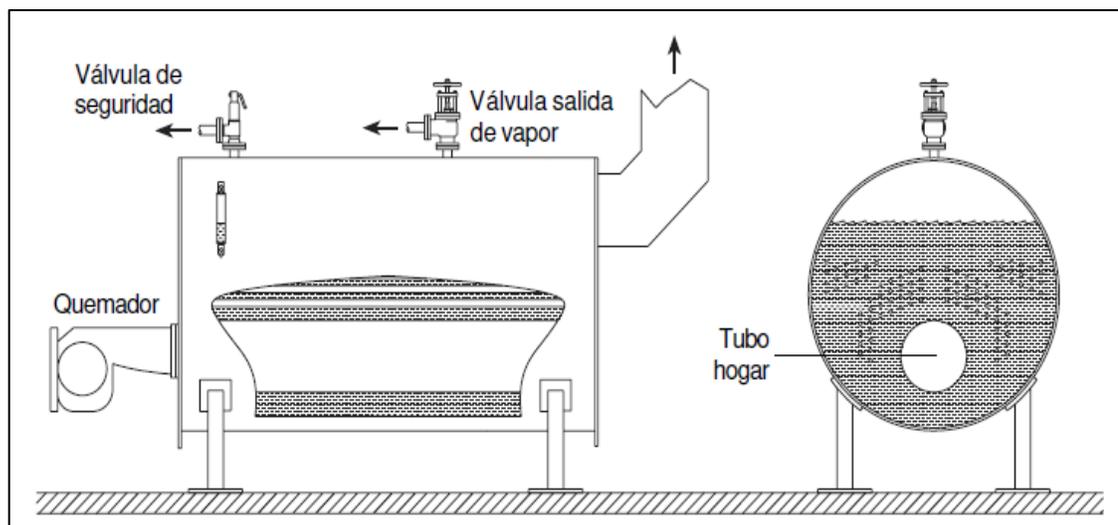
En la actualidad hay varios tipos de calderas para satisfacer necesidades de instalaciones, tanto grandes como pequeñas. Como generalidad, en los lugares donde se requiere más de una caldera para afrontar la demanda es económicamente viable centralizar la ubicación de la caldera en un lugar de la planta, ya que el coste de la instalación y de funcionamiento pueden ser significativamente menores que una planta descentralizada. A continuación, se describe algunos de los beneficios que tiene la centralización sobre varias calderas independientes:

- Elección de combustible y tarifas.
- La duplicación de equipo reduce el coste de los recambios.
- La recuperación de calor es fácil de llevar a cabo para mejor rendimiento.
- Reducción en la vigilancia manual que permite al personal realizar otras tareas.

- Dimensionado económico de la caldera de planta para satisfacer una demanda variable.
- La supervisión de emisiones se controla y monitorizan fácilmente.
- Los protocolos de seguridad y eficacia se controlan y monitorizan fácilmente.

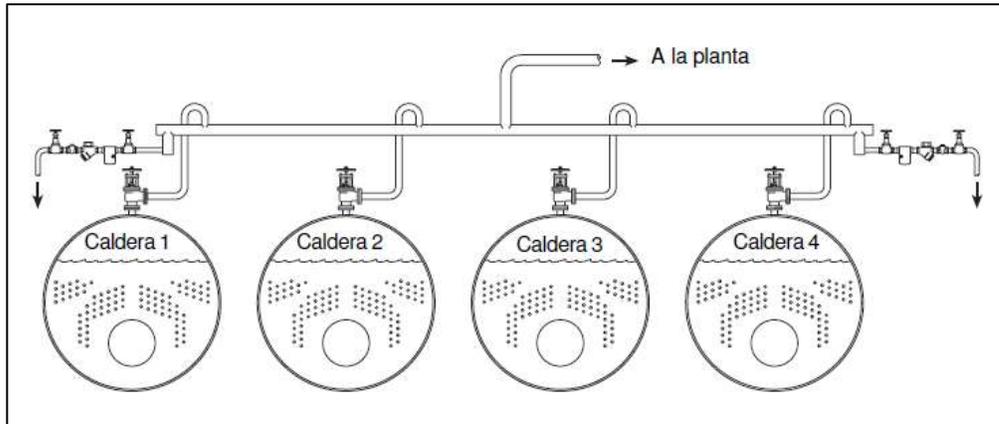
Se debe seguir unas pautas estrictas para hacer trabajar una caldera. Una caldera de vapor es un recipiente presurizado que contiene agua caliente a temperaturas superiores a los 100 °C. Por consiguiente, son necesarias las normativas y equipos de seguridad e inspecciones frecuentes de la caldera que se llevan a cabo para examinar el estado físico de la caldera. El asunto de seguridad de la caldera se examinará más detalladamente en una sección posterior.

Figura 3. **Caldera típica**



Fuente: Spirax Sarco. *Guía de referencia técnica calderas y accesorios*, p. 2.

Figura 4. **Diseño para línea principal de cuatro calderas – disposición mejorada**

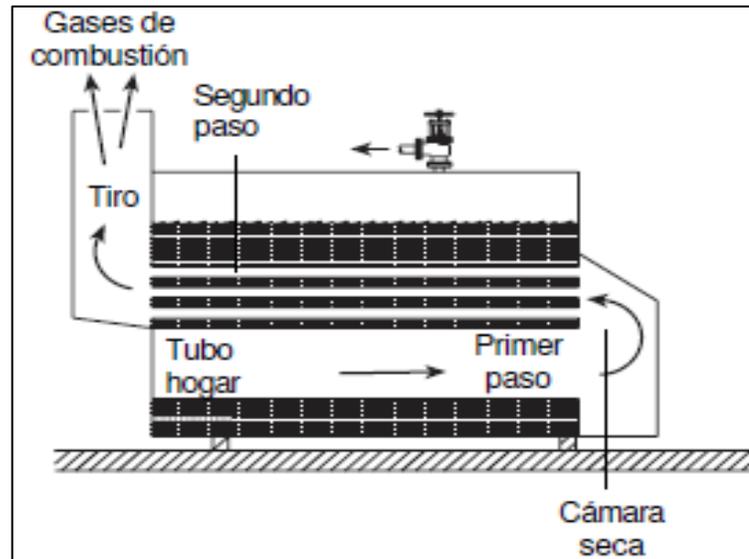


Fuente: Spirax Sarco. *Guía de referencia técnica calderas y accesorios*. p. 41.

### 1.2.1. **Calderas pirotubulares**

Son diseñadas para pasar el calor a través de los tubos que tienen internamente, conocidos como tubos de fuego, que transfieren el calor al agua que les rodea dentro de la caldera. Se produce así la vaporización del agua a un estado de vapor saturado. Existen varios tipos de combinaciones diferentes de distribución de tubos para calderas pirotubulares; esto depende del número de “pasos” que hace el calor del hogar antes de descargarse. Podemos ver una configuración típica de caldera de dos pasos en figura 5.

Figura 5. **Caldera de dos pasos con cámara seca**



Fuente: Spirax Sarco. *Guía de referencia técnica calderas y accesorios*. p. 7.

Su rendimiento global esperado a lo largo de su vida útil no supera el 65 %, en el mejor de los casos.

Por su estructura, este tipo de calderas no permite presiones de trabajo elevadas; por lo general oscilan entre los 2 o 3 bares. Son de construcción sencilla y no se usan para producciones elevadas de vapor.

En compensación, son muy económicas y de fácil instalación, por lo que actualmente son prioridad en temas de calefacción y producción de vapor para usos industriales simples.

### **1.2.2. Calderas acuotubulares**

La diferencia que existe entre las calderas acuotubulares y calderas pirotubulares es que las acuotubulares circulan el agua dentro de los tubos y las rodea el fuego o la fuente de calor. De tal manera que pueden usarse presiones más altas de vapor porque el diámetro del tubo es significativamente más pequeño que el cuerpo en la caldera pirotubular y, por consiguiente, la tensión perimetral, que en este caso es una circunferencia, también es significativamente menor.

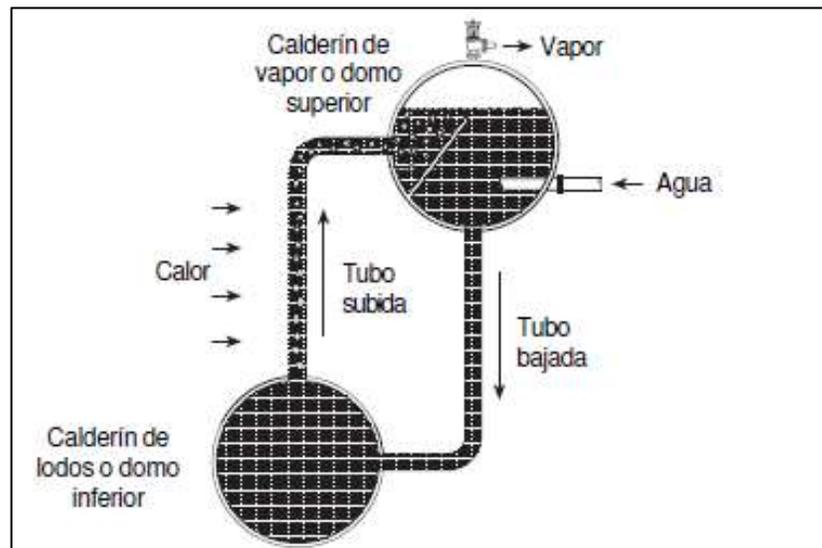
Las calderas acuotubulares son muy tomadas en cuenta para altos rendimientos de vapor, para presiones altas o para vapor recalentado. En la mayoría de aplicaciones industriales y comerciales, una caldera pirotubular es frecuentemente la más adecuado. Solo es necesario usar una caldera acuotubular si se requiere un rendimiento individual superior a 27 000 kg/h o presiones superiores a 27 bar o temperaturas de vapor superiores a 340 °C. La razón es que, para un rendimiento dado, las calderas acuotubulares son de construcción más costosa que las calderas pirotubulares compactas.

Sin embargo, por todo el mundo, las calderas acuotubulares compiten con calderas pirotubulares para tamaños inferiores a 270 bar. Para darnos una idea de la diversidad de calderas acuotubulares, las unidades varían entre aproximadamente 2 000 kg/h hasta las de 3 500 000 kg/h y superiores que impulsan las centrales eléctricas.

Las calderas más pequeñas pueden fabricarse y entregarse al sitio en una pieza. Las unidades más grandes generalmente se fabrican en secciones y se envían al destino final para su ensamblaje.

Las calderas acuotubulares trabajan con el principio de circulación de agua. Debemos estudiar el principio de circulación de agua antes de ver los diferentes tipos de calderas acuotubulares.

Figura 6. **Configuración de caldera acuotubular**



Fuente: Spirax Sarco. *Guía de referencia técnica calderas y accesorios*. p. 16.

El agua de alimentación fría se introduce en el calderín de vapor y desciende por el tubo de bajada hasta el calderín de lodos, debido a que tiene una densidad superior a la del agua caliente. Su densidad disminuye cuando pasa por el tubo de subida, donde se calienta formando burbujas de vapor. El agua caliente y las burbujas de vapor pasan al calderín de vapor una vez más, donde el vapor se separa del agua.

Sin embargo, cuando la presión en la caldera acuotubular aumenta, se reduce la diferencia entre la densidad del agua y el vapor saturado, como consecuencia hay menos circulación. Para mantener el rendimiento del vapor de

acuerdo al aumento de demanda de la presión, hay que tener una distancia más larga entre el calderín inferior y el superior.

### **1.2.3. Eficiencia energética de calderas**

Las calderas y quemadores se diseñan para un funcionamiento eficaz, y se deben dimensionar correctamente. Una caldera que tiene que cubrir una carga específica mayor al rango máximo se desarrollara con una eficiencia menor. La presión puede caer produciendo arrastres que harán que la caldera produzca un vapor de mala calidad.

Si una caldera tiene que trabajar con un porcentaje pequeño de su capacidad, entonces habrá pérdidas por radiación que pueden ser significativas y entonces por ende habrá una caída global de eficiencia. Se torna difícil igualar la producción de la caldera a un requerimiento de vapor variable. Es mejor manejar dos o más calderas pues de esta manera se puede usar la caldera más grande cuando hay una demanda de mayor carga y una pequeña cuando la carga es liviana.

## **1.3. Vapor**

El vapor empleado como fluido energético se caracteriza por ser capaz de transportar energía entre dos puntos en forma de entalpía.

El vapor se produce, a partir de agua, en un generador o caldera en el que aumenta su entalpía a costa habitualmente del calor de combustión de un combustible. Una vez en el punto de utilización pierde esta entalpía y la cede o bien hacia el medio a calefactar, o bien mediante transformación en energía mecánica como, por ejemplo, en una turbina.

En una instalación de vapor se producen cambios energéticos caracterizados por sus correspondientes ganancias y pérdidas entálpicas en toda la banda que cubre desde agua líquida a cualquier temperatura hasta vapor sobrecalentado, también a cualquier temperatura y viceversa, pasando por todos los estados intermedios caracterizados por calentamiento y enfriamiento de las fases líquido y vapor, así como los cambios de fase.

A la hora de diseñar y dimensionar una instalación de vapor es muy importante comprender muy bien todos estos cambios, así como las características y leyes por las que se rigen.

### **1.3.1. Características del vapor**

El vapor de agua es el fluido térmico más ampliamente utilizado. Su empleo es bastante general y está basado en un conjunto de características singulares que le convierten en prácticamente insustituible.

Entre las características que lo colocan en el lugar imponente que tiene están las siguientes:

- Materia prima barata y de elevada disponibilidad
- Amplio rango de temperaturas de empleo
- Ininflamable y no tóxico
- Fácilmente transportable por tubería
- Elevado calor de condensación
- Elevado calor específico
- Temperatura de condensación fácilmente regulable

El vapor de agua es un fluido energético ideal para aplicación en el campo de la industria. Su fundamento es la necesidad que tiene la industria de emplear fuente de calor a muy diversos niveles de temperatura.

Este requisito lo cumple el vapor pues holgadamente cubre un rango de trabajo de entre 1,13 bar y 70 bar, que son equivalente en un rango de temperaturas de entre 103 °C y 287 °C como vapor saturado seco e incluso a más elevadas si el vapor se produce con sobrecalentamiento posterior.

Su elevado calor latente y su baja densidad hacen que el vapor de agua sea especialmente efectivo en las operaciones de calentamiento.

En la práctica, su empleo se extiende a un número muy elevado de procesos industriales.

### **1.3.2. Clasificación del vapor**

Es importante que a la hora de enfrentarse a una instalación de vapor se tomen en cuenta los diferentes estados que puede presentar el agua confinada en una red de generación y distribución de vapor, así como las características que definen a cada uno de estos estados.

Inicialmente se pueden definir dos estados básicos: líquido y vapor. El estado líquido se puede subdividir en dos situaciones; de esta manera, cuando el líquido se encuentra por debajo del punto de ebullición se habla de líquido subenfriado, y cuando se encuentra en el punto de ebullición se habla de líquido saturado.

A su vez, el estado vapor puede subdividirse en dos situaciones; de esta manera, cuando está a la temperatura de ebullición se trata de vapor saturado y cuando se encuentra por encima del punto de ebullición, se trata de vapor sobrecalentado. Además, en la situación de vapor saturado, todavía hay que afinar más si se tiene en cuenta que esta situación se presenta en un margen muy estrecho. Por lo tanto, puede cursar, y de hecho lo hace, con mezcla de vapor y agua en distintas proporciones, por lo que un vapor saturado puede ser seco o húmedo con distintos grados de humedad definidos por un parámetro que se denomina título del vapor. Este representa el porcentaje de fase vapor frente a la mezcla vapor-agua.

En el sistema agua-vapor de agua aparecen todos estos estados en los distintos puntos que constituyen los elementos de la red de generación y distribución de vapor.

### **1.3.3. Pérdidas energéticas**

La red de distribución de vapor es un sistema energético que interactúa con el medio ambiente que lo rodea. Este caso, nos hace pensar que por no ser un sistema ideal habrá fugas energéticas que se liberan al entorno.

En una red de vapor se descubren tres tipos de pérdidas energéticas:

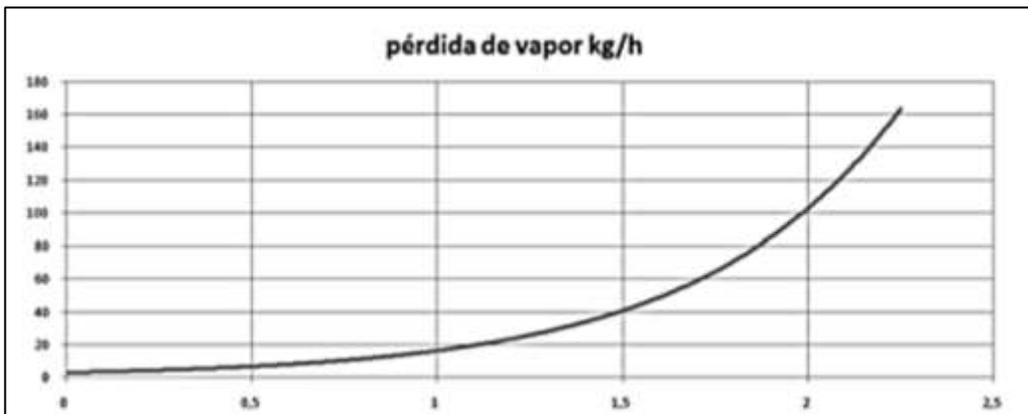
- Pérdidas internas debidas a la fricción: son las pérdidas de presión a lo largo de la red de distribución.
- Pérdidas debidas al intercambio del calor con el medio ambiente: este tema se amplía más adelante, pero existen tres tipos: conducción, convección y radiación.

- Pérdidas debido a fugas del fluido energético hacia el exterior: se generan por el mal mantenimiento de la red y sus componentes (accesorios). Las fugas de este tipo se generan cuando no se ha diseñado bien las trampas de vapor que descargan a la atmósfera, por mal mantenimiento a las trampas de vapor, de tal manera que no cierran correctamente y dejen fugar vapor vivo; por fallos en los acoplamientos de la instalación o por fisuras y poros en soldaduras y accesorios.

Cuantificar las pérdidas debido a fugas es complicado, aunque existen tablas que nos dan datos (valores) que son muy aproximados a la realidad y están enfocados a la cantidad de vapor que se pierde en un orificio de tamaño específico, pero debe cumplirse con ciertos parámetros.

Como ejemplo existe un método que funciona observando la longitud de la lanza de vapor que se forma al producirse la fuga. A continuación, presentamos una gráfica que ejemplifica mejor el método.

Figura 7. **Pérdidas de vapor por longitud de fuga (lanza)**



Fuente: Junta de Castilla y León. *Manual técnico diseño y cálculo de redes de vapor*. p. 60.

Es importante controlar y minimizar las pérdidas por fugas para una correcta eficiencia de la red. El poder controlarlas consiste en tener un correcto programa de mantenimiento y hacer revisiones constantes u exhaustivas de la red de distribución de vapor.

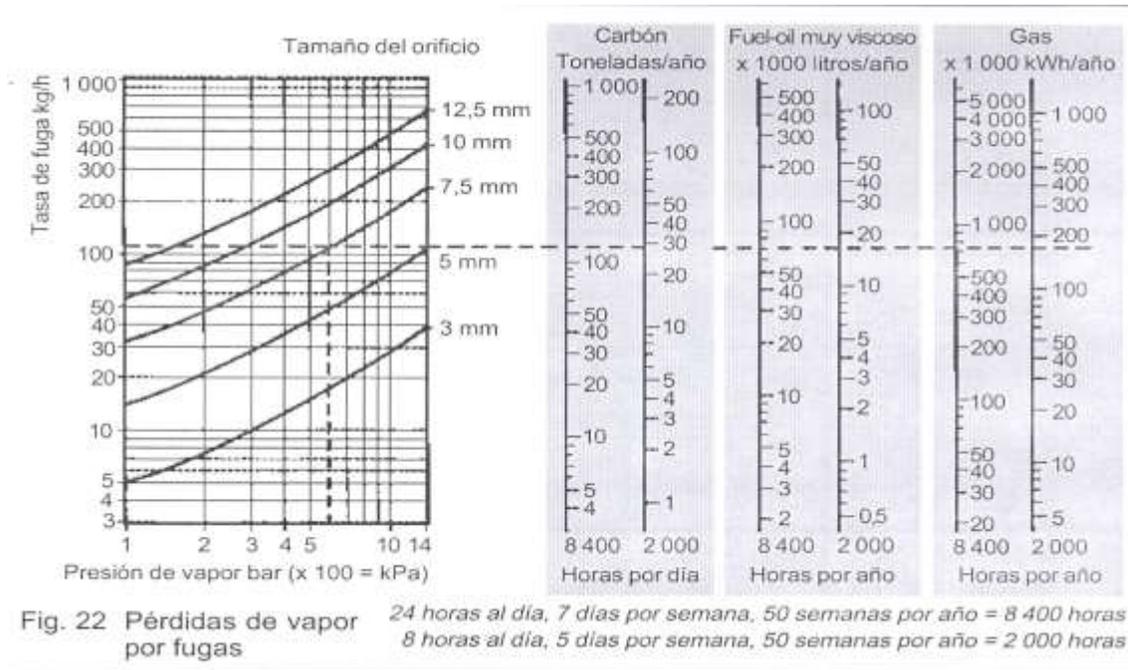
#### **1.3.4. Fugas de vapor**

Las fugas de vapor normalmente son ignoradas. Tienen un alto coste tanto en el sentido económico como ambiental, por lo que requieren una pronta atención para asegurar que el sistema de vapor trabaje con un rendimiento óptimo y un mínimo impacto ambiental.

Podemos ver el impacto ambiental en el siguiente caso: por cada litro de *fuel-oil* muy viscoso quemado innecesariamente para compensar las fugas de vapor, se emiten aproximadamente 3 kg de dióxido de carbono a la atmósfera.

La siguiente figura ilustra la pérdida de vapor para diversos tamaños de orificio. Esta pérdida puede ser fácilmente traducida en ahorro anual, con base en 8 400 o 2 000 horas de funcionamiento al año.

Figura 8. Pérdida de vapor por fugas



Fuente: FERNÁNDEZ REY, Javier. *Curso de distribución del vapor en instalaciones industriales*.  
<https://www.monografias.com/trabajos106/curso-distribucion-del-vapor-instalaciones-industriales/curso-distribucion-del-vapor-instalaciones-industriales2.shtml>. Consulta: 21 de octubre de 2021.

#### 1.4. Tratamiento de las aguas de caldera

El agua que abastece las calderas tiene que llevar un tratamiento especial para bajarla a los parámetros que se necesitan. Esto se hace con el afán de prevenir los daños causados por las impurezas.

Los siguientes son los procedimientos utilizados para el tratamiento del agua de caldera: físicos, térmicos, eléctricos, químicos y mixtos.

- Tratamientos físicos:
  - Filtración: el objetivo del tratamiento es extraer sólidos grandes en suspensión. Debe realizarse antes que el agua llegue a la caldera (externo). Los filtros pueden ser de mallas (pequeñas instalaciones) o de grava y arena.
  - Desaireación: también llamada desgasificación, consiste extraer gases disueltos (oxígeno, anhídrido carbónico). Esto se logra calentando el agua de alimentación, que proporciona una gran área de contacto agua-aire.
  - Extracciones o purgas: se trata de liberar cierta cantidad de agua desde el fondo de la caldera, con el objeto de disminuir o mantener la cantidad total de sólidos disueltos y extraer lodos (en el caso de purga de fondo). La extracción puede ser continua o intermitente. La magnitud de la misma depende de la concentración de sólidos disueltos a mantener en la caldera y la del agua de alimentación.
- Tratamientos químicos: consisten en suministrar internamente sustancias químicas que reaccionan con las impurezas del agua, precipitando sólidos insolubles o en suspensión, eliminables mediante purgas. Según el objetivo que persiguen, las sustancias se clasifican en:
  - Reductoras de dureza o ablandadoras:
    - Hidróxido de sodio o soda cáustica ( $\text{NaOH}$ ): precipita las sales de magnesio: aumenta la alcalinidad.
    - Carbonato de sodio o soda comercial ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ): precipita las sales de calcio, bajo costo, produce acidez.

- Hidróxido de calcio o cal ( $\text{Ca(OH)}_2$ ): precipita las sales de calcio y magnesio.
  - Fosfatos de sodio ( $\text{Na}_2 \text{HPO}_4$ ): precipita sales de calcio. Debe mantenerse en exceso.
  - Intercambio de Iones: se utilizan ablandadores naturales o sintéticos (zeolitas o permutitas).
- Inhibidores de corrosión:
  - Sulfito de sodio ( $\text{NaSO}_3$ ): reacciona con el oxígeno produciendo sulfatos de sodio. Se utiliza para calderas de presiones menores a 30 Kg/cm<sup>2</sup>.
  - Hidracina ( $\text{N}_2\text{H}_4$ ): reacciona con el oxígeno produciendo nitrógeno y agua sin producir sólidos disueltos. Apta para calderas de alta presión.
  - Aminas: utilizadas para el control de la corrosión en tuberías de retorno de condensado (corrosión por anhídrido carbónico).
- Inhibidores de corrosión:
  - Nitratos y nitritos de sodio ( $\text{NaNO}_3\text{-NaNO}_2$ ): debe usarse donde el agua tiene características de fragilidad.
- Inhibidores de adherencias por lodos:
  - Agentes orgánicos: taninos, almidones, derivados de aguas marinas. Evade la formación de lodos y disminuye el arrastre.
- Tratamientos térmicos: es un tratamiento basado en el calentamiento del agua hasta su punto de ebullición. Se precipitan todos los bicarbonatos en forma de carbonatos insolubles que decantan y se extraen del fondo del

economizador, eliminando de esta manera la dureza temporal de los gases disueltos. Este proceso advierte no separar la dureza permanente.

- Tratamientos mixtos: es un procedimiento basado en emplear algunos desincrustantes químicos y en calentar el agua para eliminar ambas durezas.
- Tratamientos eléctricos: es un procedimiento basado en la electrólisis del agua. El zinc en planchas que se apenan a tubos de chapas, defiende las planchas de hierro de la acción de sales incrustantes.

## **1.5. Corrosión**

La corrosión es un proceso por el cual el metal en contacto con su medio ambiente tiende a cambiar desde forma pura de metal a otra más estable. El hierro, por ejemplo, es gradualmente disuelto por el agua y oxidado por el oxígeno que lleva en su seno, formándose productos de oxidación a base de óxidos de hierro. Este proceso ocurre rápidamente en los equipos de transferencia de calor, como las calderas de vapor, ya que en presencia de altas temperaturas, gases corrosivos y sólidos disueltos en el agua se estimulan los procesos de corrosión.

A continuación, se presentan los casos más típicos.

### **1.5.1. Corrosión por oxígeno**

La corrosión por oxígeno consiste en la reacción del oxígeno disuelto en el agua con los componentes metálicos de la caldera (en contacto con el agua), provocando su disolución o conversión en óxidos insolubles.

Los resultados de este tipo de corrosión son tubérculos de color negro, los que se forman sobre la zona de corrosión, tal como lo muestra la figura 8.

Figura 9. **Corrosión por oxígeno**



Fuente: OELKER BEHN, Arnulfo. *Tratamiento de agua para calderas*.

[http://www.thermal.cl/docs/articulos\\_tecnicos/articulo\\_\\_\\_tratamiento\\_de\\_agua\\_en\\_calderas.pdf](http://www.thermal.cl/docs/articulos_tecnicos/articulo___tratamiento_de_agua_en_calderas.pdf).

Consulta: 21 de octubre de 2021.

Debido a que la corrosión por oxígeno se produce por la acción del oxígeno disuelto en el agua, esto se produce también cuando la caldera se encuentra fuera de servicio e ingresa aire (oxígeno).

La prevención de la corrosión por oxígeno se consigue mediante una adecuada desgasificación del agua de alimentación y la mantención de un exceso de secuestrantes de oxígeno en el agua de la caldera.

### 1.5.2. Corrosión cáustica

La corrosión cáustica se produce por una sobreconcentración local en zonas de elevadas cargas térmicas (fogón, cámara trasera, entre otros.) de sales alcalinas como la soda cáustica.

Este tipo de corrosión se manifiesta en forma de cavidades profundas, semejantes al *pitting* por oxígeno, rellenas de óxidos de color negro, presentes solamente en las zonas de elevada liberación térmica (fogón, placa trasera y cámara trasera) de una caldera.

La corrosión cáustica puede ser prevenida manteniendo la alcalinidad, OH libre y pH del agua de la caldera dentro de los límites recomendados.

Figura 10. **Corrosión cáustica en fogón de una caldera**



Fuente: OELKER BEHN, Arnulfo. *Tratamiento de agua para calderas*.

[http://www.thermal.cl/docs/articulos\\_tecnicos/articulo\\_\\_\\_tratamiento\\_de\\_agua\\_en\\_calderas.pdf](http://www.thermal.cl/docs/articulos_tecnicos/articulo___tratamiento_de_agua_en_calderas.pdf).

Consulta: 21 de octubre de 2021.

### **1.5.3. Corrosión en líneas de retorno de condensado**

Lógicamente, las líneas de retorno de condensado no forman parte de una caldera; sin embargo, su corrosión tiene efectos sobre las calderas y puede ser prevenida con el tratamiento de agua.

La corrosión de las líneas de retorno de condensado tiene efectos sobre una caldera, ya que los óxidos (hematita) producidos son arrastrados a la caldera con el agua de alimentación. Toda caldera cuyo lado agua tiene un color rojizo presenta problemas de corrosión en las líneas de retorno de condensado.

La corrosión en las líneas de retorno de condensado se produce por la acción del ácido carbónico que en estas se forma.

La prevención de la corrosión en las líneas de retorno de condensado puede ser conseguida mediante aminas que neutralizan la acción del ácido carbónica y aminas fílmicas que protegen las líneas.

Estas aminas son volátiles por lo que, al ser dosificadas a las líneas de alimentación de agua, son arrastradas por el vapor producido en la caldera.

### **1.6. Incrustaciones**

Las incrustaciones corresponden a depósitos de carbonatos y silicatos de calcio y magnesio, formados debido una excesiva concentración de estos componentes en el agua de alimentación o regímenes de purga insuficientes.

En la figura 10 es posible observar la corrida superior de los tubos de humo de una caldera con incrustaciones de espesores superiores a los 8 mm.

Figura 11. **Incrustaciones en tubos de humo**



Fuente: OELKER BEHN, Arnulfo. *Tratamiento de agua para calderas.*

[http://www.thermal.cl/docs/articulos\\_tecnicos/articulo\\_\\_\\_tratamiento\\_de\\_agua\\_en\\_calderas.pdf](http://www.thermal.cl/docs/articulos_tecnicos/articulo___tratamiento_de_agua_en_calderas.pdf).

Consulta: 21 de octubre de 2021.

La acción de dispersantes, lavados químicos o las dilataciones y contracciones de una caldera pueden soltar las incrustaciones, por lo que deben ser eliminadas de una caldera muy incrustada para prevenir su acumulación en el fondo del cuerpo de presión (ver figura 11).

Figura 12. **Acumulación incrustaciones en fondo cuerpo presión caldera**



Fuente: OELKER BEHN, Arnulfo. *Tratamiento de agua para calderas*.

[http://www.thermal.cl/docs/articulos\\_tecnicos/articulo\\_\\_\\_tratamiento\\_de\\_agua\\_en\\_calderas.pdf](http://www.thermal.cl/docs/articulos_tecnicos/articulo___tratamiento_de_agua_en_calderas.pdf).

Consulta: 21 de octubre de 2021.

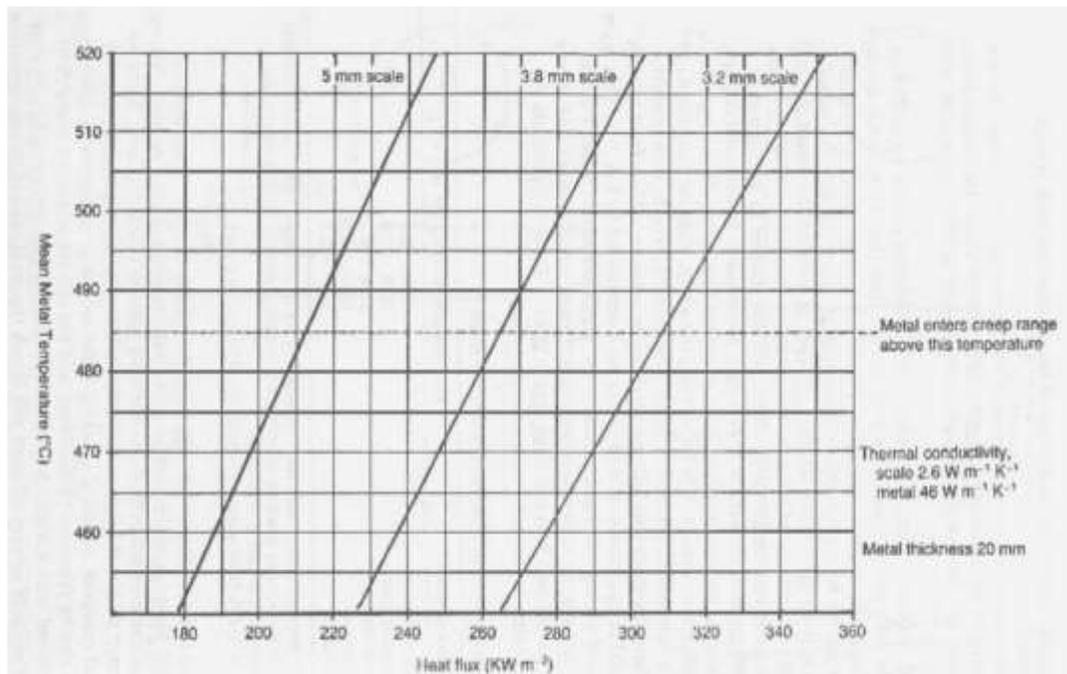
En el caso de que estas incrustaciones no sean removidas, se corre el riesgo de embancar la caldera y obstruir las líneas de purga de fondo. Esto hace que el problema sea aún mayor o incremente su criticidad.

La presencia de incrustaciones en una caldera es especialmente grave debido a que su baja conductividad térmica actúa como aislante térmico, lo que provoca problemas de refrigeración de las superficies metálicas y puede llegar a causar daños por sobrecalentamiento.

En la figura 12 se muestra el efecto del espesor de la capa de incrustaciones de una caldera, en la temperatura del metal. A medida que aumenta el espesor

de la capa de incrustaciones, para un mismo flujo de calor, aumenta la temperatura del metal.

Figura 13. **Efecto de incrustaciones y flujo de calor en la temperatura del metal**



Fuente: OELKER BEHN, Arnulfo. *Tratamiento de agua para calderas*.

[http://www.thermal.cl/docs/articulos\\_tecnicos/articulo\\_\\_\\_tratamiento\\_de\\_agua\\_en\\_calderas.pdf](http://www.thermal.cl/docs/articulos_tecnicos/articulo___tratamiento_de_agua_en_calderas.pdf).

Consulta: 21 de octubre de 2021.

La formación de incrustaciones en una caldera puede ser prevenida al satisfacer los requerimientos del agua de alimentación y agua de la caldera, si se trata el agua de alimentación y se mantiene adecuados regímenes de purga.

## 1.7. Arrastre de condensado

El arrastre de condensado en una caldera tiene relación con el suministro de vapor húmedo (con gotas de agua). El suministro de vapor húmedo puede tener relación con deficiencias mecánicas y químicas.

Las deficiencias mecánicas tienen relación con la operación con elevados niveles de agua, deficiencias de los separadores de gota, sobrecargas térmicas, variaciones bruscas en los consumos, entre otros.

Por otro lado, las deficiencias químicas tienen relación con el tratamiento de agua de la caldera, específicamente con excesivos contenidos de alcalinidad, sólidos totales (disueltos y en suspensión) y sílice, que favorecen la formación de espuma.

Para prevenir el arrastre debido a deficiencias en el tratamiento de agua se recomienda mantener los siguientes límites de los contenidos de alcalinidad, sólidos totales y sílice:

- Alcalinidad total ( $\text{CaCO}_3$ ) < 700 ppm
- Contenido de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) < 150 ppm
- Sólidos disueltos < 3500 ppm

En la figura 13 se muestra una vista interior de la cámara de vapor de una caldera, en cuyas paredes se nota la irregularidad del nivel de agua provocada por un excesivo contenido de sólidos en el agua.

Figura 14. **Cámara de vapor interna de caldera con irregularidad en las paredes**



Fuente: OELKER BEHN, Arnulfo. *Tratamiento de agua para calderas.*

[http://www.thermal.cl/docs/articulos\\_tecnicos/articulo\\_\\_\\_tratamiento\\_de\\_agua\\_en\\_calderas.pdf](http://www.thermal.cl/docs/articulos_tecnicos/articulo___tratamiento_de_agua_en_calderas.pdf).

Consulta: 21 de octubre de 2021.

### **1.8. Identificación de tuberías**

La identificación de tuberías en la industria es de suma importancia pues nos ayuda a identificar, valga la redundancia, los fluidos que recorren por las diversas redes de tuberías. Un ejemplo de la vida cotidiana es que los productos vienen etiquetados para saber qué contienen, pues de igual forma es necesario identificar la tubería para reconocer de manera práctica los fluidos en planta sin necesidad de rebuscar demasiado por donde circulan los fluidos. Es evidente que hay algunos de alta peligrosidad y esto también se hace con el fin de evitar futuros accidentes industriales.

### 1.8.1. Norma ANSI ASME A13.1

Con el propósito de identificar los fluidos que recorren una tubería, el American National Standards Institute (ANSI por sus siglas en inglés) y con el afán de unificar criterios crea la norma ANSI/ASME A13.1, la cual nos da una base bastante robusta para identificar tuberías en la industria. Es claro que la norma se presta a ser un poco personalizada pero sus bases son generalizadas.

Figura 15. Norma en Inglés ANSI/ASME A13.1

## PIPE MARKING GUIDE

to the ANSI/ASME A13.1 – 2007 Standard for the Identification of Pipes

COLOR CODE	Material Properties	Letter color on Field color	Example
FLAMMABLE	Fluids which are a vapor or produce vapors that can ignite and continue to burn in air	Black on Yellow	<b>→ HYDROGEN →</b>
COMBUSTIBLE	Fluids that may burn but are not flammable	White on Brown	<b>→ ACETIC ACID →</b>
TOXIC & CORROSIVE	Fluids which are corrosive or toxic or will produce corrosive or toxic substances	Black on Orange	<b>→ NITRIC ACID →</b>
FIRE QUENCHING	Water and other substances used in sprinkler fire-fighting piping systems	White on Red	<b>→ HALON →</b>
OTHER WATER	Any other water, except for water used in sprinkler and fire-fighting piping systems	White on Green	<b>→ BOILER WATER →</b>
COMPRESSED AIR	Any vapor or gas under pressure that does not fit a category above	White on Blue	<b>→ COMPRESSED AIR →</b>
DEFINED BY USER		White on Black	<b>→ DEFINED BY USER →</b>
DEFINED BY USER		Black on White	<b>→ DEFINED BY USER →</b>
DEFINED BY USER		White on Purple	<b>→ DEFINED BY USER →</b>
DEFINED BY USER		White on Gray	<b>→ DEFINED BY USER →</b>

**PLACE MARKERS:**

- To indicate direction of flow by labeling with arrows at one or both ends of the label
- To be visible from the point of normal approach
- Near valves, flanges and changes in pipe direction
- Both sides of ceiling, wall or floor penetrations
- At any line entry or re-entry point
- On straight pipe runs
- Every 50 feet

Right: Orientation of Labels

Labels: Label placement in relation to point of support/equipment

**PIPE MARKER SIZE CHART** Letter and Label Dimensions in accordance with pipe diameter:

Outside Pipe Diameter Including Covering	Minimum Length of Label Field Color	Minimum Height of Letters
.75" - 1.35"	8" 203 mm	.5" 13 mm
1.5" - 2"	8" 203 mm	.75" 19 mm
2.5" - 6"	12" 305 mm	1.25" 32 mm
8" - 10"	24" 610 mm	2.5" 64 mm
Over 10"	30" 813 mm	3.5" 89 mm

NOTE: It is recommended that pipes less than 75" in diameter be labeled with a permanent tag.

This guide is for general purposes only. It is not a substitute for review of applicable standards.

Fuente: graphicproducts.com. Pipe Marking Infographic.

<https://www.pinterest.com.mx/pin/534943261993035662/>. Consulta: 21 de octubre de 2021.

## **1.9. Accesorios**

Todos los accesorios de tubería (válvulas, codos, tes, reducciones, entre otros) generan una pérdida de carga al paso del fluido que circula por ellas.

En la actualidad se calculan las cargas que introduce la tubería recta; así mismo, deben calcularse las cargas que se introducen con todos los accesorios por los que también circula el fluido.

Actualmente hay métodos para calcular la pérdida de carga de los accesorios en función de parámetros derivados de los estudios que realizan casas comerciales, aunque lo más común es realizar una aproximación que introduce errores muy pequeños en el cálculo de una instalación. Esto se realiza mediante tablas que indican por accesorio a cuánta longitud equivalente corresponde.

Se conoce a la longitud equivalente como la longitud ficticia de tubería del mismo diámetro que el accesorio introduciría la misma pérdida de carga que el propio accesorio. Dicho de otra manera, se substituye el accesorio por un número determinado de metros de tubería que producen el mismo efecto.

Los valores de longitudes equivalentes se encuentran tabulados, ya sea en forma correspondiente a cada diámetro del accesorio o bien como longitudes equivalentes expresadas como número de diámetros de tubería.

Tabla I. **Tabla de longitudes equivalentes por accesorio**

ACCESORIO	Le/D
CODO 45°	15
CODO 90° RADIO STANDARD	32
CODO 90° RADIO MEDIANO	26
CODO 90° RADIO GRANDE	20
CODO 90° EN ESCUADRA	60
CODO 180°	75
CODO 180° RADIO MEDIANO	50
TE (usada como codo, con entrada por la parte recta)	60
TE (usada como codo, con entrada por la derivación)	90
ACOPLAMIENTO	despreciable
UNIÓN	despreciable
VÁLVULA DE COMPUERTA (abierta)	7
VÁLVULA DE ASIENTO (abierta)	300
VÁLVULA ANGULAR (abierta)	170
VÁLVULA DE ESFERA	3

Fuente: Junta de Castilla y León. *Manual técnico diseño y cálculo de redes de vapor*. p. 37.

Finalmente, el procedimiento para operar resulta de una manera muy cómoda, pues a la hora de calcular un tramo de tubería se suman las longitudes equivalentes de todos los accesorios que contiene y se añaden a la longitud de la tubería recta. El número resultante será el que se empleará en el cálculo como longitud total de la tubería a calcular.

### 1.9.1. Trampas de vapor

Una trampa de vapor es un accesorio que permite eliminar y evacuar los condensados formados en el circuito de vapor, fuera de este.

Los condensados se sitúan en los puntos más bajos del circuito y es donde hay que proceder a su evacuación. Esta puede realizarse de la manera más

simple mediante una válvula manual, pero está operativa no es adecuada pues exige atención continua de todos los puntos de la red. Para el purgado de los condensado existen accesorios específicos que se conocen como trampas de vapor que se encargan, de manera automática y siempre que estén bien instalados, de mantener el circuito de vapor libre de condensados.

### **1.9.2. Clasificación de las trampas de vapor**

Existen varios tipos de trampas de vapor según su principio de funcionamiento. Cada tipo tiene sus aplicaciones específicas según la aplicación, punto de instalación y condiciones de uso:

- Trampas termostáticas
- Trampas mecánicas
- Trampas termodinámicas

A continuación, ampliaremos estos temas.

#### **1.9.2.1. Termostática**

Las trampas de vapor termostáticas están diseñadas para trabajar con cambios de temperatura. La temperatura del vapor saturado viene fijada por su presión. Cuando se produce el intercambio de temperatura, el vapor saturado o recalentado (según sea el caso) cede su entalpía de evaporación, que genera condensado a la misma temperatura con la que iba el vapor. Cualquier pérdida de calor siguiente hará que la temperatura del condensado disminuya. Una trampa de vapor termostática capta la temperatura y posiciona la válvula en relación al asiento para descargar el condensado.

Figura 16. **Trampa de vapor termostática**



Fuente: TLV. *Trampas de Vapor Termostáticas.*

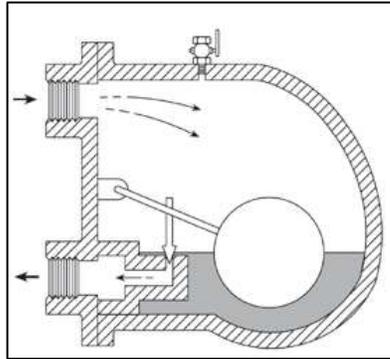
<https://www.tlv.com/global/LA/products/080300.html>. Consulta: 16 de julio de 2019.

### **1.9.2.2. Mecánica**

Las trampas de vapor mecánicas trabajan con cambios de densidad en el flujo del fluido. Su funcionamiento está basado específicamente entre la diferencia de densidad que hay entre el vapor y condensado.

Estas trampas de vapor tienen una cámara con un flotador o boya donde se acumula el condensado. La boya o flotador sube en presencia de condensado para abrir una válvula. En la siguiente figura se puede ver de manera más didáctica la funcionalidad de una trampa de vapor mecánica.

Figura 17. **Trampa de vapor mecánica de boya**

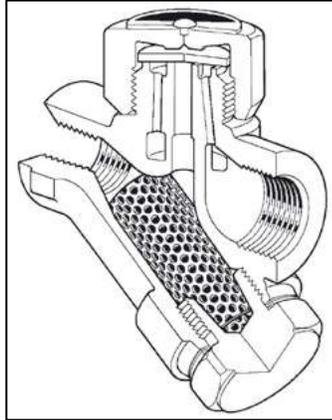


Fuente: Junta de Castilla y León. *Manual técnico diseño y cálculo de redes de vapor*. p. 17.

### 1.9.2.3. **Termodinámica**

Las trampas de vapor termodinámicas trabajan con cambios en la dinámica del fluido. Su funcionamiento depende en gran medida de la capacidad de formación de revaporizado del condensado. Este grupo incluye las trampas de vapor termodinámicas, de disco, de impulso y laberinto y también la simple placa orificio, que no se puede realmente definir como mecánico ya que se trata sencillamente de un orificio de diámetro determinado por el que pasa una cantidad determinada de condensado. Todos se basan en que el condensado caliente, descargado a presión, puede revaporizar para dar una mezcla de vapor y agua.

Figura 18. **Trampa de vapor termodinámica**



Fuente: Junta de Castilla y León. *Manual técnico diseño y cálculo de redes de vapor*. p. 17.

### **1.9.3. Importancia de las trampas de vapor**

La utilización de las trampas de vapor es el método más eficaz de drenar el condensado de un sistema de distribución de vapor.

Las trampas de vapor usadas para drenar la línea deben ser adecuados para el sistema y tener la capacidad suficiente para evacuar la cantidad de condensado que llegue a ellos, bajo las presiones diferenciales presentes en cada momento.

Las especificaciones de una trampa de vapor para una línea de distribución deben considerar ciertos aspectos.

- La trampa de vapor debe descargar en una banda muy próxima a la temperatura de saturación. Esto significa que a menudo la elección está

entre trampas de vapor mecánicas, como las de boya o de cubeta invertida, y las trampas de vapor termodinámicas.

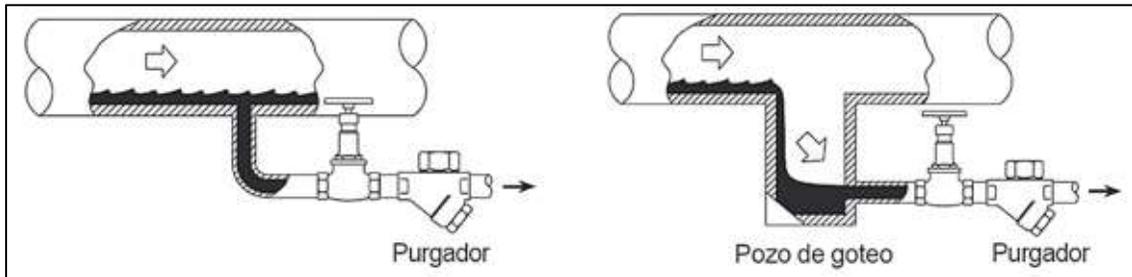
- Cuando las tuberías discurren por el exterior de edificios y existe la posibilidad de heladas, las trampas de vapor termodinámicas son las más adecuadas porque, aunque se pare la línea y se produzcan heladas, se descongelan sin sufrir daños cuando se vuelve a poner en marcha la instalación.
- Las trampas de vapor de boya son la primera elección para evacuar el condensado de los separadores porque alcanzan altas capacidades de descarga y su respuesta es casi inmediata a los aumentos rápidos de caudal.
- Las trampas termodinámicas son también adecuadas para purgar líneas de gran diámetro y longitud, especialmente cuando el servicio es continuo. Los daños causados por las heladas son, en consecuencia, menos probables.

Para resumir esta sección hay observar estas simples reglas:

- Deben instalarse las tuberías de manera que descendan en la dirección del flujo, con una pendiente no inferior a 40 mm por cada 10 m de tubería.
- Las líneas de vapor deben purgarse a intervalos regulares de 30 – 50 m, así como en cualquier punto bajo del sistema.

- Para instalar un punto de purga en un tramo recto de tubería, deberá utilizarse un pozo de goteo de gran tamaño, que pueda recoger el condensado, como muestra la figura siguiente.

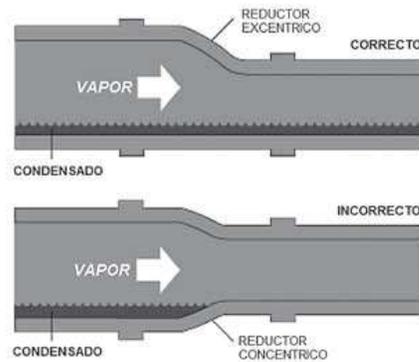
Figura 19. **Instalación de un purgador en un tramo recto de tubería**



Fuente: Junta de Castilla y León. *Manual técnico diseño y cálculo de redes de vapor*. p. 25.

- La tubería debe montarse de manera que haya el mínimo de puntos bajos donde se pueda acumular el agua. Si se montan filtros, deben montarse con cesta en la posición horizontal.
- Las conexiones de las derivaciones deben partir de la parte superior de la línea, para tomar el vapor lo más seco posible.
- Las reducciones de diámetro deben ejecutarse con acoplamientos asimétricos, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 20. **Ejecución correcta de las reducciones de tubería**



Fuente: Junta de Castilla y León. *Manual técnico diseño y cálculo de redes de vapor*. p. 26.

- Debe considerarse la instalación de un separador antes de cualquier equipo que utilice el vapor, para asegurar que recibe vapor seco.
- Las trampas de vapor elegidas deben ser robustas para evitar el riesgo de daños por golpes de ariete.

#### 1.9.4. Tuberías

Probablemente el estándar de tuberías más común sea el derivado del American Petroleum Institute (API), donde las tuberías se clasifican según el espesor de pared de tubería, llamado Schedule.

Estos Schedules están relacionados con la presión nominal de la tubería, y son un total de once, comenzando por 5 y seguido de 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 140, hasta el Schedule 160. Para tuberías de diámetro nominal 150 mm y menores, el Schedule 40 (denominado a veces *standard weight*), es el más ligero de los especificados. Solo los Schedule 40 y 80 cubren la gama completa de

medidas nominales desde 15 mm hasta 600 mm y son los utilizados más comúnmente para instalaciones de tuberías de vapor.

Se puede obtener las tablas de los Schedule en el BS 1 600, que se usa como referencia para la medida nominal de la tubería y el espesor de la misma en milímetros. La tabla muestra un ejemplo de diámetros de distintas medidas de tubería, para distintos Schedule. En Europa las tuberías se fabrican según la norma DIN, por lo que se incluye la tubería DIN 2 448 en la tabla siguiente.

Tabla II. **Diámetros internos de tubería**

Tamaño de tubería (mm)		15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150
Diámetro interior (mm)	Schedule 40	15,8	21,0	26,6	35,1	40,9	52,5	62,7	77,9	102,3	128,2	154,1
	Schedule 80	13,8	18,9	24,3	32,5	38,1	49,2	59,0	73,7	97,2	122,3	146,4
	Schedule 160	11,7	15,6	20,7	29,5	34,0	42,8	53,9	66,6	87,3	109,5	131,8
	DIN 2448	17,3	22,3	28,5	37,2	43,1	60,3	70,3	82,5	107,1	131,7	159,3

Fuente: Junta de Castilla y León. *Manual técnico diseño y cálculo de redes de vapor*. p. 23.

### 1.9.5. Juntas de dilatación

Se usan frecuentemente por el reducido espacio que ocupan, pero es imprescindible que la tubería esté rígidamente anclada y guiada, siguiendo las instrucciones del fabricante. Si no es así, la presión de vapor que actúa sobre la sección transversal del casquillo de la junta tiende a provocar un movimiento en oposición a las fuerzas debidas a la expansión de la tubería. Si no está bien

alineada, el casquillo se curvará, por lo que también será necesario un mantenimiento regular de los prensaestopas.

### **1.9.6. Válvulas**

Una válvula se define como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza móvil que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.<sup>1</sup>

Las válvulas son instrumentos de control de los más esenciales en la industria. Debido a su composición y diseño, pueden abrir y cerrar, regular, modular o aislar una buena parte de líquidos y gases, que puede ir desde los más simples (agua) hasta los más corrosivos o tóxicos (ácido).

Hay diversos tamaños; podemos encontrarlas desde una fracción de pulgada hasta unos 9 m o más de diámetro. De igual forma ocurre con el tema de la presión, pues podemos encontrar válvulas para presiones de vacío hasta alta presión. Dependiendo de la instalación puede ser de importancia el sellado absoluto o bien la permisividad de ciertas fugas.

Las válvulas de control están constituidas básicamente de dos partes que son el actuador y el cuerpo.

#### **1.9.6.1. Válvulas de compuerta**

Es una válvula que abre mediante el levantamiento de una compuerta o rasera (puede ser redonda o rectangular). De esta manera permite el paso del fluido.

---

<sup>1</sup> KUZU. *Qué son las válvulas y tipos de válvulas*. <https://kuzudecoletaje.es/que-son-las-valvulas-y-tipos-de-valvulas/>. Consulta: 22 de julio de 2019.

Lo que distingue a las válvulas de este tipo es el sello, el cual se hace mediante el asiento del disco en dos áreas distribuidas en los contornos de ambas caras del disco. Las caras del disco pueden ser paralelas o en forma de cuña. Las válvulas de compuerta no son empleadas para regulación.

### **1.9.6.2. Válvulas de globo**

Una válvula globo es de vueltas múltiples. El cierre del circuito se logra a través de un disco o tapón que cierra o corta el paso del flujo del fluido, sentándose o acomodándose en un asiento que normalmente está en paralelo con la circulación en la tubería.

Este tipo de válvulas dispone de orificios múltiples y con un control preciso de la circulación. Adjunto a esto cuenta con una carrera corta del disco y por ello se requiere pocas vueltas para accionarlas. Se recomienda no usarlas en secciones con grandes caídas de presión. Su precio es alto.

### **1.9.6.3. Válvulas de bola**

Las válvulas de bola tienen un cuarto de vuelta, en las que una bola perforada gira entre asientos elásticos, lo que permite el flujo directo en la posición abierta y corta el paso cuando se gira la bola noventa grados y cierra o sella la tubería. Su aplicación es muy buena para servicios de conducción y corte sin estrangulación, a la hora de necesitar que abra rápido y cuando se requiere poca resistencia a la circulación. Su precio es bajo si lo comparamos con otros tipos de válvulas; así mismo, tienen buena aplicación en temperaturas templadas. Aunado a esto, no necesitan mantenimiento casi nulo y no tienden a presentar fugas.

Debe tomarse en cuenta que este tipo de válvulas es muy susceptible o dado a la cavitación.

#### **1.9.6.4. Válvulas de retención**

Conocidas como válvulas de retención o válvulas *check* o “cheque”. Su función principal es impedir que se retorne el fluido que circula en una dirección dentro de la tubería a la dirección opuesta. Su aplicación común o más conocida es a la descarga de la bomba para evitar el retorno del fluido.

#### **1.9.7. Filtros**

Cuando se instala una tubería nueva, es común que queden residuos de arena de fundición, del embalaje, del ensamblado, virutas, varillas de soldar, e incluso tonillos o tuercas que hayan quedado dentro. En el caso de las tuberías viejas habrá óxido y en zonas de aguas duras, depósitos de carbonatos. De vez en cuando, algunas partes se romperán, soltarán y pasarán a la tubería con el vapor, para acabar en el interior de algún equipo, al que pueden atascar, dejándolo abierto o cerrado.

Los equipos de vapor pueden también sufrir daños permanentes al rayarse (acción cortante del vapor y el agua pasando a gran velocidad a través de una válvula parcialmente abierta). Cuando una válvula se ha rayado, no volverá a procurar un cierre estanco, sección de un filtro típico.

Por lo tanto, es sensato montar un simple filtro en la tubería delante de cada purgador, aparato de medida, válvula reductora y válvula de control.

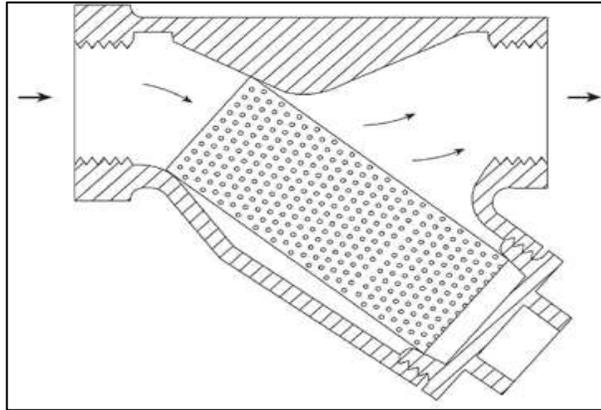
Los filtros, sin embargo, pueden ser una fuente de problemas de golpe de ariete, como se mencionó. Para evitar esto, cuando forman parte de una línea de vapor los filtros deben montarse con la cesta en posición horizontal.

Hay que tener en cuenta que en toda tubería por la que circula un fluido, este arrastra consigo partículas de todo tipo:

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

Por lo tanto, lo más conveniente es montar un simple filtro en la tubería delante de cada purgador, aparato de medida, válvula reductora y válvula de control. La sección de un filtro típico se muestra en la figura siguiente:

Figura 21. **Filtro de tubería de vapor**



Fuente: Junta de Castilla y León. *Manual técnico diseño y cálculo de redes de vapor*. p. 24.

### **1.9.8. Material aislante**

Si tenemos dos focos de calor en diferentes temperaturas, se tiene un intercambio térmico en el cual el punto más caliente fluye al más frío, de modo que se alcance un equilibrio térmico, en pocas palabras se alcanza el equilibrio térmico.

Hay tres maneras en las que en las que fluye la temperatura de un punto a otro, las cuales son:

- **Conducción:** muy común en cuerpos sólidos. Al elevarse la temperatura aumenta la vibración de las moléculas. Esta vibración se transfiere de unas moléculas a otras en función de la zona más caliente a la más fría.
- **Convección:** común en los fluidos. Las moléculas que interactúan con un cuerpo de elevada temperatura se calientan, baja su densidad y se

moviliza por gravedad. Ahora bien, si estas entran en contacto simultáneamente con un cuerpo de baja temperatura, pierden calor, aumentando así su densidad y movilizándose en sentido contrario, generando así un ciclo de convección.

- Radiación: es la forma general pues todos los cuerpos irradian o, dicho de otra manera, emiten radiación; esta, a su vez, aumenta en la medida que un cuerpo incrementa su temperatura. La radiación está formada por ondas electromagnéticas que tienen diferentes frecuencias. La transmisión de radiación puede efectuarse en vacío.

Ahora bien, con los conceptos anteriores podemos destacar que una tubería que conduce vapor genera transmisión de calor por convección y radiación, de tal manera que, si queremos mantener una temperatura en el vapor para que este no se condense, es necesario un material aislante capaz de evitar que haya esta transferencia de calor al ambiente.

El material aislante es un punto muy importante a tomar en cuenta a la hora de diseñar las tuberías, ya que permite evitar las pérdidas de energía por convección y radiación, manteniendo así la temperatura del fluido a la temperatura de operación. El aislante térmico es un material que económicamente no es barato; sin embargo, es necesario para llevar el fluido en la temperatura de operación hasta su disposición final. Sumado al factor económico que representa no tener un buen aislante térmico, otra de las bondades de este es que representa un factor de seguridad para los operarios y previene posibles accidentes, en este caso, quemaduras.

Se recomienda aislar todas las tuberías que anden en un rango de 5 a 50 grados centígrados.

## **2. FASE DE INVESTIGACIÓN**

### **2.1. Diagnóstico de la situación actual**

El presente capítulo presenta el diagnóstico y análisis del sistema actual de la red de vapor y condensado (trampas de vapor) de la empresa textil Tennat, S.A. Se determina qué partes y que accesorios se encuentran en mal estado, y qué está trabajando en forma correcta.

Se puede ver una descripción de los equipos de generación de vapor, así como también un plano de la planta, con la finalidad de darnos una idea de cómo es el sistema de red de vapor de la planta 2 Tennat, S.A.

#### **2.1.1. Situación actual de la red de distribución de vapor**

El diagnóstico y análisis del sistema actual de la empresa Tennat, S.A. está basado en la observación de la red de vapor como lo constituyen trampas de vapor, bridas, llaves de paso, aislamiento, purgas, entre otros. De esta manera se determina cuáles son los accesorios que se encuentran en mal estado y un porcentaje de los que operan correctamente.

Los accesorios que actualmente se encuentran en funcionamiento fueron instalados alrededor de hace 25 años, por lo que es muy probable que la mayoría actualmente no esté funcionando correctamente.

Por la gran cantidad de años que lleva la red de vapor es claro que las fugas están presentes en la misma, debido a la corrosión que puede producir el fluido

conducido y la gran presión a la que se maneja. Estas son algunas de las deficiencias que se presentan actualmente, que se analizarán y diagnosticarán para su posterior propuesta de optimización.

### **2.1.2. Descripción de la instalación**

Proporcionar mantenimiento al sistema de distribución de vapor provee mejores oportunidades de ahorro para el mismo. El costo del mantenimiento a las trampas de vapor (purgadores) y la revisión de la existencia de fugas en las uniones de las tuberías y válvulas requiere una inversión que debe hacer el Departamento de Mantenimiento. Brindar capacitación apropiada al personal de mantenimiento siempre será una buena inversión. El sistema actual de planta dos Tennat, S.A. no está en óptimas y excelentes condiciones pues presenta algunas deficiencias, como las que se mencionarán a continuación:

- Fugas de vapor: en el sistema de distribución existen fugas en las tuberías, en válvulas, en trampas de vapor y en los flange. Se debe reparar para la eliminación de las fugas. Esto brindará la oportunidad de ahorrar energía y dinero. Ciertamente, las fugas en ocasiones requieren un bajo presupuesto de reparación, por lo cual es importante atenderlas con prontitud.
- Trampas de vapor: el sistema de trampas actualmente cuenta con un sistema de mantenimiento preventivo para la misma. Como está en fase de implementación es claro que el sistema aún es deficiente y necesita mejorar con prontitud. Por otro lado, el presupuesto para reparaciones en el sistema de trampas de vapor (condensados) tiene un costo en algunas ocasiones elevado, por lo que hace dificultoso mantenerlo en óptimas y mejores condiciones.

- Aislamientos: el aislamiento o recubrimiento de las tuberías y los accesorios en algunos tramos, es antiguo y en algunas partes no existe tal recubrimiento. Se ha demostrado que, al instalar aislamientos, una planta puede dejar de consumir aproximadamente 6 000 lb/h y puede bajar la cantidad de combustible utilizado, y de esta manera reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 6 % y recuperar la inversión en 6 meses.

La mayoría de trampas de vapor se encuentran instaladas sin sus respectivos accesorios de norma (mirillas, válvulas de corte, filtros y cheques) lo cual, junto con un escaso mantenimiento de las mismas, da como resultado que el sistema de trampeo de vapor se encuentre en malas condiciones. Esto va enlazado al tema de costo de mantenimiento, pues representa un gasto mayor el tener que adjuntar todos los accesorios adicionales a simplemente poner una trampa.

### **2.1.3. Equipos que operan con vapor**

Tennat, S.A. es una empresa que se dedica al mercado textil y dentro de esta, planta dos es una de las más grandes consumidoras de vapor en la empresa. Esto se debe a que un buen porcentaje de la maquinaria trabaja con procesos que hacen uso del vapor, básicamente en procesos de teñido, lavado y planchado.

A continuación, se presenta una lista de los equipos que actualmente operan con vapor:

Tabla III. Inventario de equipos que consumen vapor, planta 2

No.	NOMBRE	No.	NOMBRE
1	COMPACTADORA 1	46	DESENGOMADORA ARTOS
2	COMPACTADORA 2	47	DESENGOMADORA BABCOCK
3	COMPACTADORA FERRARO	48	LAVADORA GOLLER
4	CORTADORA CORDUROY 1	49	LAVADORA MENZEL
5	CORTADORA CORDUROY 2	50	EQUIPO KORTING
6	SANFORIZADORA 1	51	SECADOR FONGS 1
7	SANFORIZADORA 2	52	SECADOR FONGS 2
8	SANFORIZADORA 3	53	SECADOR FONGS JR 3
9	SANFORIZADORA 4	54	SECADOR FONGS 4
10	SANFORIZADORA 5	55	SECADOR FONGS 5
11	ENGOMADORA TEÑIDORA 1 INDIGO MASTER	56	SECADOR FONGS 6
12	ENGOMADORA SUKER MULLER 4	57	FONGS ALLWIN-226 1400 Kg
13	ENGOMADORA SUKER MULLER 5	58	FONGS ALLWIN-120 500 Kg
14	ENGOMADORA ZEELL BENNINGER 2	59	FONGS ALLWIN-105 300Kg 1
15	ENGOMADORA ZEELL BENNINGER 3	60	FONGS ALLWIN-105 300Kg 2
16	ENGOMADORA ZEELL BENNINGER 6	61	FONGS ALLWIN-105 300Kg 3
17	ENGOMADORA ZEELL BENNINGER 7	62	FONGS JR 10
18	BARCA 2	63	FONGS JR 16
19	BARCA 1	64	FONGS JR 17
20	BARCA 3	65	FONGS JR 18
21	ATYC	66	FONGS JR 19
22	BRAZZOLI	67	FONGS 20
23	TEÑIDOR FONGS TELA ALLFIT-60 1T #14	68	FONGS 21
24	TEÑIDOR FONGS TELA ALLFIT-60 1T #15	69	FONGS 22
25	TEÑIDOR TELA FONGS ECO 1 2005	70	FONGS 23
26	TEÑIDOR TELA FONGS ECO 2 2009	71	FONGS 24
27	TEÑIDOR TELA FONGS MK 3 2000	72	FONGS JR 25
28	FONGS 5	73	FONGS JR 26
29	FONGS 8	74	PAD STEAM GOLLER COLORA
30	GASTON 7	75	STALAM
31	TEÑIDOR TELA MCS GRANDE 11	76	COLD PAD BATCH # 1
32	TEÑIDOR TELA MCS PEQUEÑA 12	77	MONITER MANIQUI
33	SCHOLL 9	78	PLANCHADORA MANGLER 2
34	THEN AIRFLOW SYNERGY #13	79	PLANCHADORA 1
35	THEN 2	80	PLANCHADORA 2
36	JIGGER MEZZERA	81	PLANCHADORA 3
37	JIGGER 1	82	PLANCHADORA 4
38	JIGGER 3	83	SECADORA 1
39	JIGGER 4	84	SECADORA 2
40	TEÑIDOR FONGS LABWIN-6 #5	85	SECADORA 3
41	TEÑIDOR FONGS LABWIN-6 #1	86	SECADORA 4
42	TEÑIDOR FONGS LABWIN-6 #2	87	SECADORA 5
43	TEÑIDOR FONGS LABWIN-6 #3	88	SECADORA 6
44	TEÑIDOR FONGS LABWIN-6 #4	89	SECADORA 8
45	BLANQUEADORA ARTOS	90	SECADORA 9

Fuente: elaboración propia.

### 2.1.4. Consumo de vapor por equipo

A continuación, se presenta un listado de consumo de vapor por equipo de planta 2 Tennat, S.A.

Tabla IV. Consumo de vapor por equipo

No	NOMBRE	MARCA	P (bar)	Q (kg/h)	FU	CR (kg/h)
1	COMPACTADORA 1	TUBETEX	4	115	0,17	19,55
2	COMPACTADORA 2	TUBETEX	4	115	0,11	12,65
3	COMPACTADORA FERRARO	FERRARO	4	180	0,2	36
4	CORTADORA CORDUROY 1	CARU	4	30	0,1	3
5	CORTADORA CORDUROY 2	CARU	4	30	0,1	3
6	SANFORIZADORA 1	CIBITEX	4	1577	0,37	583,49
7	SANFORIZADORA 2	CIBITEX	4	1577	0,35	551,95
8	SANFORIZADORA 3	MONFORTS	4	178	0,54	96,12
9	SANFORIZADORA 4	MONFORTS	4	345	0,62	213,9
10	SANFORIZADORA 5	MONFORTS	4	345	0,34	117,3
11	ENGOMADORA TEÑIDORA 1 INDIGO MASTER	MASTER	4	2210	0,75	1 657,5
12	ENGOMADORA SUKER MULLER 4	SUKER MULLER	4	994	0,9	894,6
13	ENGOMADORA SUKER MULLER 5	SUKER MULLER	4	994	0,9	894,6
14	ENGOMADORA ZEELL BENNINGER 2	BENNINGER	4	2961	0,8	2368,8
15	ENGOMADORA ZEELL BENNINGER 3	BENNINGER	4	1481	0,87	1 288,47
16	ENGOMADORA ZEELL BENNINGER 6	BENNINGER	4	2520	0,87	2192,4
17	ENGOMADORA ZEELL BENNINGER 7	BENNINGER	4	994	0,87	864,78
18	BARCA 2	LIZTEX	4	450	0,6	270
19	BARCA 1	LIZTEX	4	450	0,6	270
20	BARCA 3	LIZTEX	4	450	0,6	270
21	ATYC	ATYC	4	450	0,8	360
22	BRAZZOLI	BRAZZOLI	4	180	0,6	108
23	TEÑIDOR FONGS TELA ALLFIT-60 1T #14	FONG'S	7	190	0,5	95
24	TEÑIDOR FONGS TELA ALLFIT-60 1T #15	FONG'S	7	190	0,5	95

Continuación de la tabla IV.

25	TEÑIDOR TELA FONGS ECO 1 2005	FONG'S	7	1205	0,6	723
26	TEÑIDOR TELA FONGS ECO 2 2009	FONG'S	7	1205	0,64	771,2
27	TEÑIDOR TELA FONGS MK 3 2000	FONG'S	7	785	0,4	314
28	FONGS 5	FONG'S	7	3025	0,8	2 420
29	FONGS 8	FONG'S	7	3025	0,8	2 420
30	GASTON 7	FONG'S	7	1205	0,8	964
31	TEÑIDOR TELA MCS GRANDE 11	MCS	4	742	0,6	445,2
32	TEÑIDOR TELA MCS PEQUEÑA 12	MCS	4	63	0,13	8,19
33	SCHOLL 9	SCHOLL	4	450	0,6	270
34	THEN AIRFLOW SYNERGY #13	THEN	7	450	0,6	270
35	THEN 2	THEN	7	1750	0,73	1 277,5
36	JIGGER MEZZERA	MEZZERA	4	450	0	0
37	JIGGER 1	JIGGER	4	115	0,33	37,95
38	JIGGER 3	JIGGER	4	115	0,45	51,75
39	JIGGER 4	JIGGER	4	115	0,46	52,9
40	TEÑIDOR FONGS LABWIN-6 #5	FONG'S	7	114	0,6	68,4
41	TEÑIDOR FONGS LABWIN-6 #1	FONG'S	7	114	0,7	79,8
42	TEÑIDOR FONGS LABWIN-6 #2	FONG'S	7	114	0,6	68,4
43	TEÑIDOR FONGS LABWIN-6 #3	FONG'S	7	114	0,65	74,1
44	TEÑIDOR FONGS LABWIN-6 #4	FONG'S	7	114	0,67	76,38
45	BLANQUEADORA ARTOS	ARTOS	4	5305	0,7	3 713,5
46	DESENGOMADORA ARTOS	ARTOS	4	1530	0,67	1 025,1
47	DESENGOMADORA BABCOCK	BABCOCK	4	2430	0,5	1215
48	LAVADORA GOLLER	GOLLER	4	994	0,66	656,04
49	LAVADORA MENZEL	MENZEL	4	2974	0,73	2 171,02
50	EQUIPO KORTING	KORTING	4	1980	0,5	990
51	SECADOR FONGS 1	FONG'S	7	190	0,02	3,8
52	SECADOR FONGS 2	FONG'S	7	190	0,04	7,6
53	SECADOR FONGS JR 3	FONG'S	7	450	0,13	58,5
54	SECADOR FONGS 4	FONG'S	7	785	0,13	102,05
55	SECADOR FONGS 5	FONG'S	7	785	0,12	94,2
56	SECADOR FONGS 6	FONG'S	7	785	0,09	70,65

Continuación de la tabla IV.

57	FONGS ALLWIN-226 1 400 Kg	FONG'S	7	3025	0,67	2 026,75
58	FONGS ALLWIN-120 500 Kg	FONG'S	7	1205	0,66	795,3
59	FONGS ALLWIN-105 300Kg 1	FONG'S	7	785	0,73	573,05
60	FONGS ALLWIN-105 300Kg 2	FONG'S	7	785	0,66	518,1
61	FONGS ALLWIN-105 300Kg 3	FONG'S	7	785	0,67	525,95
62	FONGS JR 10	FONG'S	7	450	0,68	306
63	FONGS JR 16	FONG'S	10	257	0,23	59,11
64	FONGS JR 17	FONG'S	10	257	0,38	97,66
65	FONGS JR 18	FONG'S	10	257	0,6	154,2
66	FONGS JR 19	FONG'S	10	257	0,45	115,65
67	FONGS 20	FONG'S	7	1205	0,25	301,25
68	FONGS 21	FONG'S	7	1205	0,24	289,2
69	FONGS 22	FONG'S	7	785	0,08	62,8
70	FONGS 23	FONG'S	7	785	0,34	266,9
71	FONGS 24	FONG'S	7	1612	0,24	386,88
72	FONGS JR 25	FONG'S	7	190	0,56	106,4
73	FONGS JR 26	FONG'S	7	190	0,5	95
74	PAD STEAM GOLLER COLORA	GOLLER	4	5219	0,22	1 148,18
75	STALAM	STALAM	4	30	0,9	27
76	COLD PAD BATCH # 1	LIZTEX	4	180	0,55	99
77	MONITER MANIQUI	MONITER	8	54	0,9	48,6
78	PLANCHADORA MANGLER 2		4	115	0,9	103,5
79	PLANCHADORA 1		8	54	0,9	48,6
80	PLANCHADORA 2		8	54	0,9	48,6
81	PLANCHADORA 3		8	54	0,9	48,6
82	PLANCHADORA 4		8	54	0,9	48,6
83	SECADORA 1		8	205	0,9	184,5
84	SECADORA 2		8	205	0,9	184,5
85	SECADORA 3		8	205	0,9	184,5
86	SECADORA 4		8	205	0,9	184,5
87	SECADORA 5		8	205	0,9	184,5
88	SECADORA 6		8	205	0,9	184,5
89	SECADORA 8		6	54	0,9	48,6
90	SECADORA 9		6	205	0,9	184,5
				<b>74012</b>		<b>43 407,32</b>

Fuente: elaboración propia.

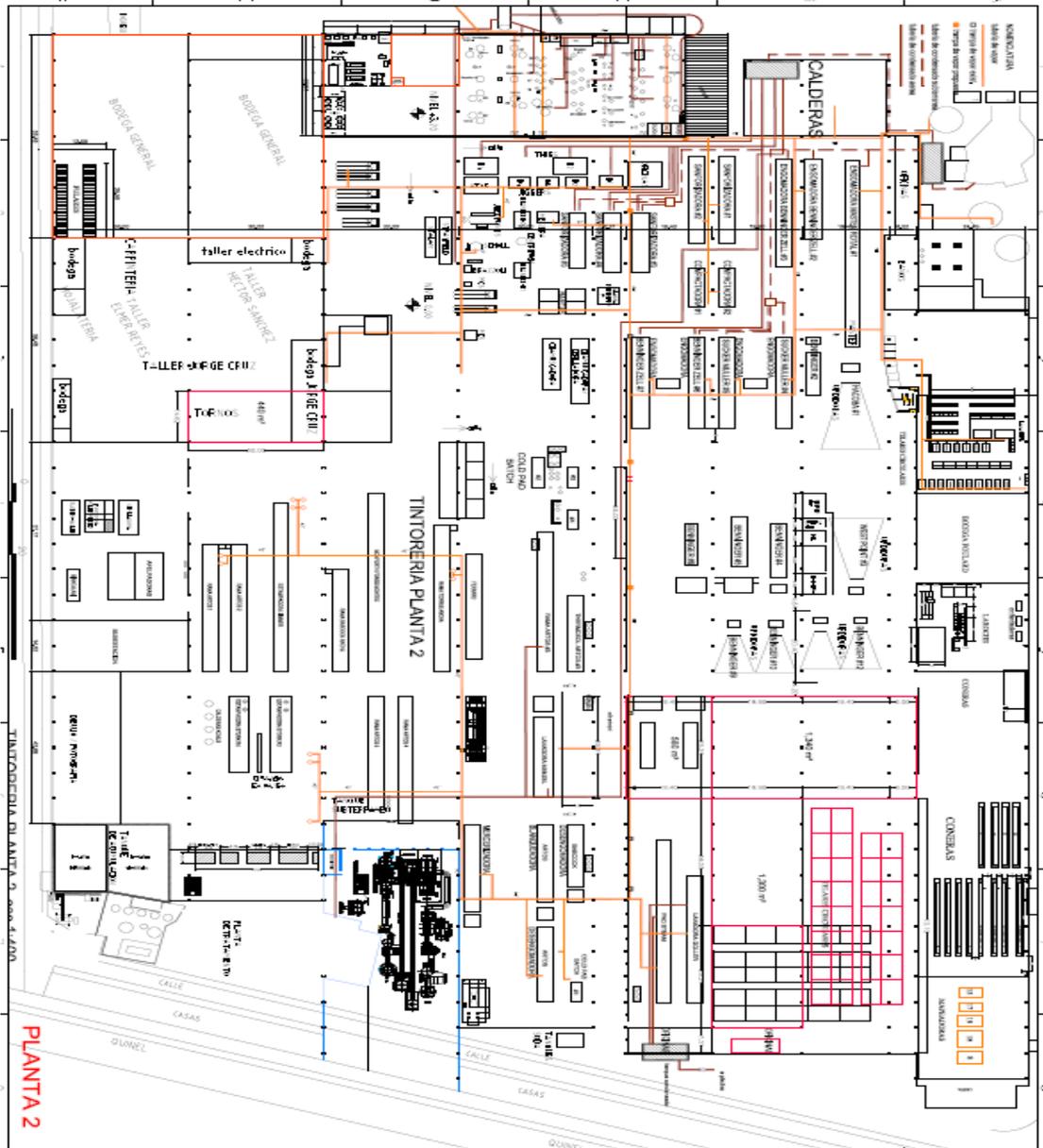
- Nomenclatura: P = presión, Q = consumo teórico, FU = factor de utilización, CR = consumo real.

Estos datos nos servirán posteriormente para la realización de los cálculos de dimensionamiento de tubería.

### **2.1.5. Plano de vapor situación actual**

En la actualidad existe el siguiente plano de la red de vapor, pero necesita renovarse pues no está actualizado al presente año.

Figura 22. Plano de vapor red de vapor planta 2 Tennat, S.A.



Fuente: Departamento de Mantenimiento, Tennat, S.A.

### **2.1.6. Descripción de la tubería actual**

La distribución del vapor en la planta dos de Tennat, S.A. se hace por medio de tuberías de hierro negro sin costura cédula 40. Estas van desde su punto inicial hasta su destino final, o sea desde la salida de la caldera hasta el punto de consumo (la máquina). Con esto se busca satisfacer las necesidades del proceso.

En el sistema de distribución de vapor se presentan deficiencias que se traducen en pérdidas de energía y presión que, a su vez, implican mayor consumo de combustible en la caldera para compensar dichas pérdidas.

En la distribución de tuberías se detectaron varias fallas debido a que no hay una evaluación constante y no se realiza el mantenimiento preventivo respectivo. Las deficiencias que se han encontrado son las siguientes:

- El sistema de tuberías (algunas adaptaciones mal calculadas)
- Fugas de vapor
- Falta de aislamiento térmico
- Aislamiento térmico muy antiguo
- Aislamiento térmico dañado

Caber resaltar que en la red de vapor no hay estaciones reguladoras de presión por equipo por lo que la presión inicial menos la pérdida del trayecto sería la presión en el punto de consumo. Además, dentro de las deficiencias en la red de vapor, no se tiene un manómetro por máquina, por lo que no se puede determinar si necesitarán una estación reguladora de presión ni se sabe si a la máquina se le estará suministrando la presión de vapor requerida.

### 2.1.7. Inventario y descripción de los equipos de generación de vapor

Actualmente la planta 2 de Tennat, S.A. cuenta con los siguientes equipos de generación de vapor, los cuales se describen en el siguiente cuadro.

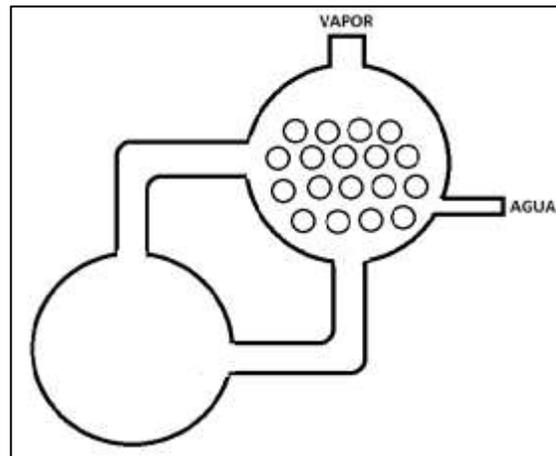
Tabla V. Descripción de calderas  
INVENTARIO DE CALDERAS

No .	Tipo	D (pulg )	Combustible	Marca	Modelo	Kg/h
1	Pirotubular	8	Bunker	Cleaver Brooks	CB 600 - 700	12 000
2	Pirotubular	8	Bunker	Cleaver Brooks	CB 600 - 800	12 000
3	Pirotubular	8	Bunker	Cleaver Brooks	CB 600 - 600	12 000
4	Acuotubular	8	Carbón Bituminoso	Basuki	20 BHF 13	20 000
5	Acuotubular	6	Carbón Bituminoso	Desconocida/China	Desconocido	10 000
6	Acuotubular	5	Carbón Bituminoso	Desconocida/China	Desconocido	6 000
<b>Total</b>						<b>72 000</b>

Fuente: elaboración propia.

Tennat, S.A. actualmente cuenta con 6 equipos de generación de vapor en buen estado. Actualmente se mantienen en uso constante solamente 4, pero la demanda de vapor es proporcional al número de máquinas consumiendo.

Figura 23. **Configuración de una caldera acuotubular Tennat, S.A.**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

## **2.2. Integración de costos**

En esta sección se presentan los costos aproximados de la generación de vapor en la planta 2 de Tennat,S.A. Se integrará con el fin calcular el costo de vapor que suministran las máquinas en un mes.

### **2.2.1. Costos de operación**

Los costos de operación están compuestos por varios factores tales como el costo de producción de vapor, el de personal operativo, el de consumo de combustible, entre otros.

A continuación, se presenta una tabla que resume las horas de trabajo y el consumo de combustible.

Tabla VI. Consumo de combustible

Caldera	Horas por día	Horas por semana	Horas por mes	Consumo de combustible por mes	Tipo de combustible
Bazuki	24 h	159 h	636 h	1 097 toneladas	Carbón
China 6TN	24 h	159 h	636 h	282 toneladas	Carbón
China 10TN	24 h	159 h	636 h	263 toneladas	Carbón
Cleaver 1	3 h	21 h	84 h	3 792 galones	Bunker
CLEAVER 2	Eventual	Eventual	Eventual	18,40 galones	Bunker
CLEAVER 3	Eventual	Eventual	Eventual	12,525 galones	Bunker

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. Costo por consumo de combustible para producción de vapor

Combustible	Cantidad total mensual	Precio	Costo total mensual
Carbón Bituminoso	1 642 toneladas	\$ 116,81/tonelada	\$ 191 802,02
Bunker	18 157 galones	\$ 1,84/galón	\$ 33 408,88
<b>COSTO TOTAL MENSUAL EN COMBUSTIBLE</b>			<b>\$ 225 210,00</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. Costo de recurso humano

Descripción	Salario	Cantidad	Total
Encargado de Calderas	Q 7 000,00	1	Q 7 000,00
Operadores A	Q 5 220,00	10	Q 52 200,00
Operadores B	Q 5 200,00	10	Q 52 000,00
Ayudantes	Q 5 200,00	3	Q 15 600,00
Supervisores de Calderas	Q 6 500,00	2	Q 13 000,00
Operador minicargador	Q 6 500,00	2	Q 13 000,00
<b>TOTAL</b>			<b>Q 152 800,00</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. Costo de vapor caldera Bazuki

<b>Datos:</b>	Basuki			
<b>Presión vapor</b>	5,86 bar r	<b>Temperatura agua alimentación</b>	48 – 50	°C
<b>Tipo de combustible</b>	Carbón bituminoso	<b>Coste de combustible</b>	116,81	\$/ton
<b>Cálculos</b>				
(a) Calor requerido (ver tabla 1)		2 555		kJ/kg
(b) Calor requerido por tonelada de vapor (a*1000)		2 555 000		kJ
(c) Poder calorífico combustible (ver tabla 2)		30 000		kJ/kg
(d) Energía real necesaria (b/c)		85,16666667		Kg
(e) Eficiencia de la caldera		80 %		
(f) Energía real necesaria (d/0,8)		106,45833333		Kg
(g) Coste de combustible		116,81		\$/ton
(h) Coste aproximado agua de aportación y tratamiento		1,7872		\$/ton
<b>Coste del vapor (f/1000*g) + h</b>		<b>14,22259792</b>		<b>\$/ton</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. Costo de vapor caldera china 10 Ton Vapor/h

<b>Datos:</b>	China 10 Ton vapor/h			
<b>Presión vapor</b>	5,5 bar r	<b>Temperatura agua alimentación</b>	48 - 50	°C
<b>Tipo de combustible</b>	Carbón bituminoso	<b>Coste de combustible</b>	116,81	\$/ton
<b>Cálculos</b>				
(a) Calor requerido (ver tabla 1)		2 555		kJ/kg
(b) Calor requerido por tonelada de vapor (a*1000)		2 555 000		kJ
(c) Poder calorífico combustible (ver tabla 2)		30 000		kJ/kg
(d) Energía real necesaria (b/c)		85,16666667		Kg
(e) Eficiencia de la caldera		80 %		
(f) Energía real necesaria (d/0,8)		106,45833333		Kg
(g) Coste de combustible		116,81		\$/ton
(h) Coste aproximado agua de aportación y tratamiento		1,7872		\$/ton
<b>Coste del vapor (f/1000*g) + h</b>		<b>14,22259792</b>		<b>\$/ton</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. Costo de vapor caldera Cleaver Brooks

<b>Datos:</b>	Cleaver brooks			
<b>Presión vapor</b>	6,2053 bar r	<b>Temperatura agua alimentación</b>	48 - 50	°C
<b>Tipo de combustible</b>	Bunker	<b>Coste de combustible</b>	1,84	\$/gal
<b>Cálculos</b>				
(a) Calor requerido (ver tabla 1)			2 555	kJ/kg
(b) Calor requerido por tonelada de vapor (a*1000)			2 555 000	kJ
(c) Poder calorífico combustible (ver tabla 2)			45 600	kJ/kg
(d) Energía real necesaria (b/c)			56,0307018	Kg
(e) Eficiencia de la caldera			90 %	
(f) Energía real necesaria (d/0,9)			62,2563353	Kg
(g) Coste de combustible			1,84	\$/gal
(h) Coste aproximado agua de aportación y tratamiento			1,7872	\$/ton
<b>Coste del vapor ((f/0,835) * (g/3,781)) +h</b>			<b>38,0706205</b>	<b>\$/ton</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. Resumen del costo de vapor por caldera

<b>Caldera</b>	<b>Producción de vapor (ton/h)</b>	<b>Costo (\$/ton)</b>	<b>Costo total por hora (h)</b>	<b>Horas por mes (h)</b>	<b>Costo por mes (\$)</b>
Bazuki vapor	20	14,22	284,40	636	180 878,40
China 10TON	10	14,22	140,22	636	89 179,92
China 6TON	6	14,22	85,32	636	54 263,52
Cleaver Brooks 3	7,41	38,07	282,1	84	23 696,40
<b>Total</b>	<b>43,41</b>	<b>80,73</b>	<b>792,04</b>	<b>1 992</b>	<b>348 018,24</b>

Fuente: elaboración propia.

Cálculo con base en el consumo real calculado en la sección de “consumos” del presente capítulo, el cual asciende al valor de 43 407,32 kg/h.

### 2.2.2. Costos de mantenimiento preventivo

Para mantener la red de vapor en buenas condiciones se cuenta con los técnicos de mantenimiento, quienes son los encargados de velar por el mantenimiento de la red de vapor. También involucra a los generadores de vapor. A continuación, se detalla algunos de los procedimientos realizados:

- Revisión de caldera.
- Revisión del sistema eléctrico de la caldera.
- Revisión de bomba eléctrica de agua de alimentación.
- Revisión del tanque de condensado.
- Revisión de tubería de vapor con su respectivo aislamiento térmico y protección.
- Revisión de los accesorios para la red de vapor (codos, tes, filtros, derivaciones, válvulas, trampas de vapor, uniones universales, manómetros, entre otros).

Para estas actividades se suma el salario de las personas implicadas en el proceso (técnicos)

Tabla XIII. Costo salario de técnicos

DESCRIPCIÓN	SALARIO	CANTIDAD	TOTAL
Técnico mecánico	Q 5 400,00	1	Q 5 400,00
Técnico eléctrico	Q 5 000,00	1	Q 5 000,00
		<b>TOTAL</b>	<b>Q 10 400,00</b>

Fuente: elaboración propia.

### 2.2.3. Costo beneficio

- Ahorro por reparación de fugas

Es claro que las fugas en el sistema traen consigo muchos gastos adicionales como mayor consumo de combustible para regular la presión, mayor consumo de químico, de agua y, por ende, de electricidad. De manera que cada fuga que entra al sistema debiese sumarse al costo de producción de vapor, pues es un gasto adicional que no sería necesario costear si se fuera más preventivo en este tema.

A continuación, se presenta una tabla guía para calcular el ahorro mensual en dólares por reparaciones preventivas o correctivas a fugas de vapor. De acuerdo al tamaño del orificio se calcula el ahorro aproximado, para saber el ahorro real debe inventariarse cada fuga de acuerdo al tamaño del orificio y así obtener un dato concreto mensual. O bien, si no existieran fugas en el sistema, una situación muy poco usual pues no habrá ahorro, pero tampoco gasto adicional.

Tabla XIV. **Tabla guía de ahorro mensual en fugas**

Orificio	kg de vapor/mes	ton/h	Costo de Vapor \$/ton	Costo \$/h	Horas de trabajo/mes	\$ de ahorro/mes
1/2"	379 500	0,5271	80,73	42,5514375	1992	84 762,4635
7/16"	289 500	0,4021	80,73	32,4601875	1992	64 660,6935
3/8"	213 600	0,2967	80,73	23,9499	1992	47 708,2008
5/16"	147 700	0,2051	80,73	16,5608625	1992	32 989,2381
1/4"	95 400	0,1325	80,73	10,696725	1992	21 307,8762
3/16"	53 200	0,0739	80,73	5,96505	1992	11 882,3796

Fuente: elaboración propia.



### **3. FASE TÉCNICO PROFESIONAL**

#### **3.1. Propuestas de optimización red de suministro de vapor**

Debido al análisis realizado a la red de vapor de planta dos Tennat, S.A. se han encontrado oportunidades de mejora para la red de vapor.

A continuación, se presentan una serie propuestas para optimizar dicha red.

##### **3.1.1. Plan de mantenimiento preventivo de la red de suministro de vapor**

Para estas tareas de mantenimiento se propone disponer un mecánico y un plomero, quienes estarán a cargo del jefe de mecánicos.

- Mantenimiento diario
  - Toda la red de distribución de vapor debe ser revisada diariamente para determinar si hay pérdidas en uniones, tes, codos, válvulas, etc. Reportar las fallas al departamento de mantenimiento para proceder a efectuar cualquier reparación que sea necesaria.
  - Revisar las juntas de expansión ajustando los topes de sujeción y el prensaestopas en los casos necesarios.
  - Revisar el aislante térmico por desprendimiento, erosión, entre otros.
  - Inspeccionar las válvulas de control para determinar si operan en condiciones satisfactorias.
  - Inspeccionar el funcionamiento correcto de las trampas de vapor.

- Mantenimiento mensual

Debe efectuarse en conjunto luego de realizar todas las tareas del mantenimiento diario.

- Inspeccionar el estado de los anclajes y soportes del sistema de tubería.
- Determinar si existe vibración en las tuberías. Aún el menor temblor puede convertirse en algo serio si no se remedia de inmediato. Reportar cualquier problema de vibración tan pronto como sea posible para tomar las medidas correctivas correspondientes.
- Los ganchos o soportes doblados o desprendidos causan drenajes inapropiados y deformación de las juntas y pueden, finalmente, causar escapes. Cualquier defecto debe reportarse y corregirse los desalineamientos cuando existan. Asegurarse de que cada gancho está montado adecuadamente para soportar la tubería.
- Limpiar la superficie exterior de las tuberías de tal forma que los escapes y los desperfectos del forro aislante puedan ser fácilmente vistos y reparados. Pintar de acuerdo al código de colores disponible que se acordó en mantenimiento cuando sea permitido y necesario.
- Reparar cualquier rotura o grieta que tenga el forro aislante.
- Comprobar todos los equipos que trabajan con vapor por su buen funcionamiento.
- Revisar los tanques de condensado y sus accesorios.
- Revisar el funcionamiento de las válvulas reductoras de presión. Poner atención a ruidos extraños durante la operación. Chequear la presión correcta del lado de baja presión.

- Chequear las tuberías de entrada y salida a las válvulas y asegurarse que no ocasionan deformación en el cuerpo de la válvula.
  - Limpiar los filtros de toda la instalación.
- **Mantenimiento trimestral**

Se deben realizar todas las tareas del mantenimiento diario y mensual para proceder a realizar las tareas del mantenimiento trimestral.

- Chequear todas las válvulas del sistema de distribución para asegurarse de que están en condiciones adecuadas de trabajo. Si presentan alguna anomalía repórtela y repárela lo más pronto posible. Examine la tubería de alimentación y de descarga y asegúrese que estas no producen deformaciones en el cuerpo de la válvula.

- **Mantenimiento anual**

Previamente se debe realizar las tareas de los mantenimientos diarios, mensual y trimestral.

- Desmontar las trampas de vapor para asegurarse de que todos sus elementos funcionan en condiciones adecuadas. Limpiar y reemplazar si es necesario.
- Revisar y ajustar todos los manómetros de la instalación.
- Quitar la tapa de las válvulas de retención, inspeccionar la bisagra y el buje por si tiene movimiento libre o desgaste excesivo. Quitar

cualquier suciedad o materia extraña alojada en la válvula; repare o reemplace las partes dañadas.

- Cambiar las empaquetaduras de las juntas de expansión.
- Inspeccionar todas las válvulas del sistema de distribución para asegurarse que funcionan en condiciones adecuadas y efectuar cualquier reparación que sea necesaria. En cada caso síganse las instrucciones del fabricante.
- Inspeccionar y probar las válvulas de seguridad.

### 3.1.2. Identificación de tubería

Una de las propuestas de optimización de la red de vapor es la identificación de tuberías, pues normalmente no están identificadas; en este caso, la del vapor. Por lo mismo no se puede dar un fácil seguimiento en lugares donde hay varios ramales intercalados. Aunado a ello, la norma ANSI A13.1 hace esta recomendación.

Actualmente, en Tennat, S.A la tubería de vapor no está identificada por lo que se propone en la siguiente tabla una guía de código de colores para identificar el vapor y, además, tomarla en cuenta para otros fluidos.

Tabla XV. **Colores y etiquetas para identificar tubería**

CLASIFICACIÓN	FLUIDOS	COLOR	LETRA
Fluidos Inflamables	Hidrógeno, gasolina, acetona, tolueno, etc.	Amarillo	Negro
Combustible	Diesel, alcohol mineral, fluido de carbón para encendedores, etc.	Café	Blanco
Tóxico y corrosivo	Ácido nítrico, ácido sulfúrico.	Anaranjado	Negro
Extintor de incendios	Agua, espuma, dióxido de carbono, etc.	Rojo	Blanco
Agua	Agua suave, agua dura, agua potable, agua de enfriamiento, etc.	Verde Oscuro	Blanco

Continuación de la tabla XV.

CLASIFICACIÓN	FLUIDOS	COLOR	LETRA
Aire comprimido	Aire comprimido, <i>vapor de agua</i> , etc.	Azul	Blanco
Definido por el usuario		Negro	Blanco
Definido por el usuario		Blanco	Negro
Definido por el usuario		Morado	Blanco
Definido por el usuario	Vapor de agua	Gris	Blanco

Fuente: elaboración propia, empleando datos de la Norma ANSI/ASME A13.1 – 2007.

De acuerdo a la norma ANSI/ASME A13.1 se sugiere identificar el vapor de agua con el color azul, según la clasificación que nos indica la norma. Sin embargo, al analizar por tema de costos y para evitar equivocaciones, se sugiere también usar el color gris, pues esta tubería va enchaquetada y normalmente puede conseguirse un color gris en la chaqueta, lo que disminuiría el costo de identificación y solo se gastaría en etiquetar la tubería.

Las tuberías que conducen fluidos deben estar señalizadas con la dirección de fluido y un código de colores acorde con el tipo de producto transportado, como se muestra en la tabla anterior.

Existen diversos códigos de colores diseñados para identificar los fluidos (líquidos y gaseosos) transportados, algunos de ellos como el creado por la American Standard Association (ASA), la convertida en ANSI (Instituto Nacional Americano de Estándares – ANSI, por sus siglas en inglés, American National Standards Institute).

Como vemos, la ANSI indica que los sistemas de tuberías se identificarán con letreros que indiquen el nombre del contenido, completo o abreviado, puede incluir el dato de temperatura y presión (grados Celsius, Fahrenheit, bar, PSI, entre

otros), para identificar de mejor manera el peligro de estos fluidos. A través de flechas se indicará el sentido del flujo contenido en la tubería.

Con esto se propone pintar la tubería de vapor del color sugerido y si se desea tomar en cuenta para otros fluidos puede hacerse guiándose por la tabla. Además, se recomienda utilizar cintas de demarcación que cumplan con las normas del código de colores. Es importante la rotulación sea colocada en puntos estratégicos que identifique tipo de fluido y su dirección y sea de fácil visualización para quienes recorren la planta. El cambio de los colores se puede aplicar según el criterio de la institución, siempre que el seleccionado sea bien identificado por el personal de mantenimiento y planta, quedando así algún registro de consulta para que no haya futuras confusiones o cambios que impliquen mayor presupuesto en pintura y cinta. Debe tomarse en cuenta que las cintas demarcadoras son de gran utilidad.

### **3.1.2.1. Reparación de fugas**

Las fugas en el sistema generan una serie de inconvenientes tanto en el rendimiento como en lo económico; por ello, es necesario erradicar estos problemas.

Inicialmente, lo más importante es mantener el sistema en óptimas condiciones, tales como tener eliminadores de aire en la red de distribución de vapor, contar con piernas colectoras de condensado que sirven para disminuir el golpe de ariete y tener un plan de mantenimiento preventivo para el control de trampas de vapor. Todo lo mencionado servirá como mantenimiento preventivo, para evitar la propagación constante de fugas en el sistema.

Sin embargo, es necesario así mismo integrar un plan correctivo, el cual depende mucho de los colaboradores. Al estar concienciados sobre la importancia del tema se pondrá prioridad a la reparación de fugas de vapor.

Como vimos, se presentaron algunas propuestas para la eliminación de fugas en el sistema. A continuación, se presentan algunos datos que dan la idea de lo dañino que es tener fugas en la red de distribución de vapor.

### 3.1.2.2. Costo por fugas

Como es bien sabido, el costo de generar vapor es alto, por lo que las fugas de vapor, tanto en la red de distribución como en las herramientas y equipo que hacen uso de este, genera costos innecesarios.

Algunos de los casos más comunes de fugas de vapor se dan en válvulas y en bridas en mal estado, así como en trampas de vapor expuestas al desgaste de los empaques y piezas que componen el accesorio. Así mismo, el aire y el condensado que viajan en la tubería a grandes velocidades pueden en ocasiones producir *pitting* (picaduras) en él, pero de los casos ruptura en la tubería generando así grandes fugas de vapor en el sistema.

Tabla XVI. **Tabla. Costos de fugas**

Orificio	kg de vapor/mes	ton/h	Costo de Vapor \$/ton	Costo \$/h	Horas de trabajo/mes	costo \$ al año
1/2"	379 500	0,5271	80,73	42,5514375	1992	84 762,4635
7/16"	289 500	0,4021	80,73	32,4601875	1992	64 660,6935
3/8"	213 600	0,2967	80,73	23,9499	1992	47 708,2008
5/16"	147 700	0,2051	80,73	16,5608625	1992	32 989,2381
1/4"	95 400	0,1325	80,73	10,696725	1992	21 307,8762
3/16"	53 200	0,0739	80,73	5,96505	1992	11 882,3796

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior podemos ver numéricamente el costo que representa tanto en flujo másico como en moneda las fugas de vapor en el sistema. Esto afecta tanto al consumo como a la generación de vapor debido a que la caldera debe trabajar más tiempo o consumir más combustible para nivelar el consumo, que en este caso se incrementa, pues hay un gasto adicional.

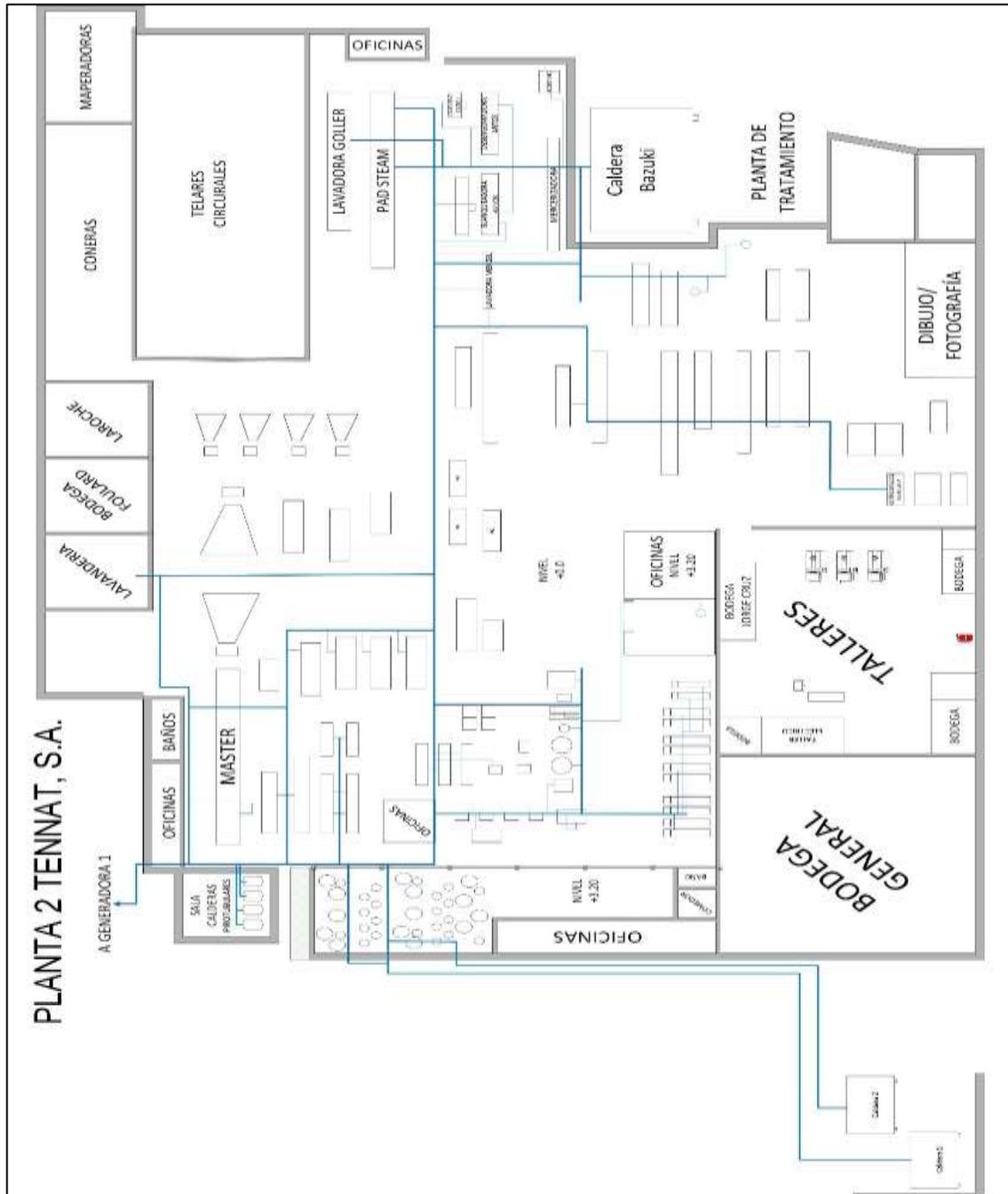
En este caso, luego del análisis se propone generar un plan de mantenimiento preventivo y correctivo de fugas enfocándonos mayormente en la fase correctiva. Prevenir las fugas es un trabajo exhaustivo; detectarlas y corregirlas es más fácil y las reparaciones no tienen mucho grado de dificultad.

Básicamente se requiere la voluntad de los técnicos, herramienta y algunos repuestos para realizar estos trabajos, que basarían el plan de mantenimiento a recorrido y detección de fugas.

### **3.1.2.3. Diseño de la red de vapor**

A continuación, se presenta un plano de la red de vapor de la planta 2 de Tennat, S.A. actualizada al año 2019. Este es el diseño actual.

Figura 24. Plano de la red de vapor actual

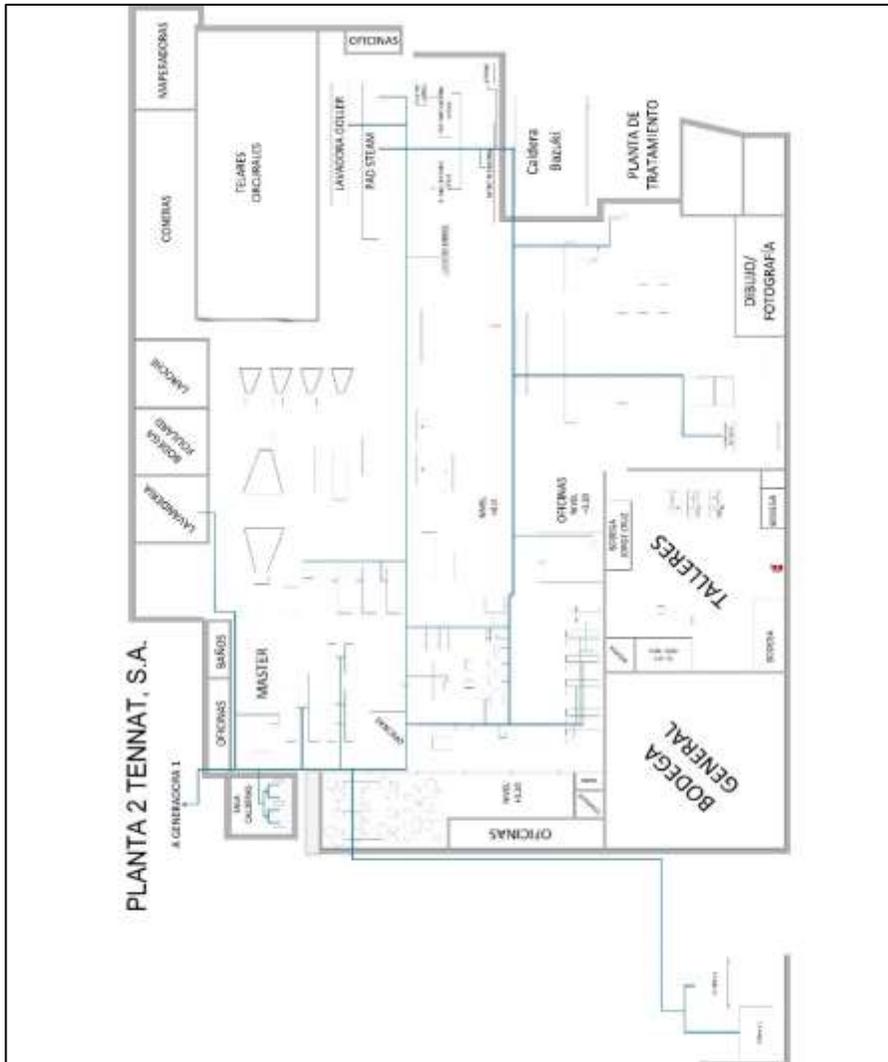


Fuente: elaboración propia.

### 3.1.2.4. Propuesta de diseño de red de vapor

A continuación, se presenta un plano de la red de vapor de la planta 2 de Tennat, S.A. actualizada al año 2019. Este es el diseño que se propone implementar.

Figura 25. Propuesta de diseño de red de vapor



Fuente: elaboración propia.

### 3.1.2.5. Determinar diámetro de tuberías

Para determinar el diámetro de la tubería existen dos métodos importantes, el de la velocidad y la caída de presión. Para este propósito usaremos el de caída de presión. Esta es la ecuación:

$$F = \frac{P_1 - P_2}{L}$$

Donde:

F = Factor de caída de presión

P<sub>1</sub> = Factor basado en la presión inicial

P<sub>2</sub> = Factor basado en la presión final

L = Longitud equivalente

Los factores P<sub>1</sub> y P<sub>2</sub> son obtenidos de la tabla 8 anexo, luego con la tabla 9 anexo buscamos el factor y con el flujo másico obtenemos el diámetro de la tubería correspondiente a dichas condiciones.

A continuación, desarrollaremos la primera operación.

Desarrollaremos el tramo Desengomadora artos 1 con los siguientes datos:

L = 30,182 m

Q = 1 090,8 kg/h

Presión 1 = 4,02 bar

Presión 2 = 4 bar

Con los datos de las presiones nos vamos a la tabla 8 anexo y buscamos los factores P<sub>1</sub> y P<sub>2</sub> para sustituir en la ecuación, entonces los valores son:

De tabla 8 anexo tenemos:

$$P_1 = 22\,898$$

$$P_2 = 22\,72$$

Sustituyendo en la ecuación tenemos:

$$F = \frac{22,898 - 22,72}{30,182} = \frac{0,178}{30,182} = 0,005898$$

Con el factor "F" cuyo valor es 0,005898 buscamos en la tabla 9 anexo el factor y el flujo másico correspondientes a los valores que tenemos y nos dará el diámetro respectivo al caso.

Entonces de tabla 9 anexo tenemos:

$$F = 0,005898$$

$$Q = 1\,090.80 \text{ kg/h}$$

$$D = 125 \text{ mm}; 5 \text{ pulg.}$$

Repetimos el procedimiento para cada tramo, de lo cual obtenemos la siguiente tabla:

Tabla XVII. Cálculos de diámetro de tubería

No.	Tramo	Flujo másico (Kg/h)	Longitud eq. (Le) m	Presión 1 (bar)	Presión 2 (bar)	ΔP	P1	P2	Factor (F)	(d) mm	(d) plg
1	Desengomadora artos 1	1 090,80	30,182	4,02	4	0,02	22,898	22,72	0,0059	125	5
2	Blanqueadora artos	4267,25	28,264	4,02	4	0,02	22,898	22,72	0,0063	175	7
3	Cold Pad Batch #1	182	31,89	4,02	4	0,02	22,898	22,72	0,00558	50	2
4	Desengomadora artos 2	450	13,588	4,008	4	0,008	22,7912	22,72	0,00524	80	3
5	Cold Pad Batch #1 + Artos	638,32	25,807	4,0481	4,028	0,02014	23,1484	22,9692	0,00694	80	3
6	Lavadora Goller	1 010,50	46,639	4,03	4	0,03	22,987	22,72	0,00572	100	4
7	Pad Steam 2	1 007,22	43,6272	4,03	4	0,03	22,987	22,72	0,00612	100	4
8	Pad Steam 1	4 238,94	10,278	4,008	4	0,008	22,7912	22,72	0,00693	175	7
9	Ollas de preparación	581,95	89,764	4,06	4	0,06	23,254	22,72	0,00595	80	3

Continuación de la tabla XVII.

10	Desengomadora babcock	2454,3	26,182	4,02	4	0,02	22,898	22,72	0,0068	150	6
11	Blanqueadora artos 2	1 090,80	29,782	4,02	4	0,02	22,898	22,72	0,00598	125	5
12	Lavadora Menzel	1 999,80	29,176	4,02	4	0,02	22,898	22,72	0,0061	125	5
13	Lavadora Menzel 2	1 090,80	13,782	4,008	4	0,008	22,7912	22,72	0,00517	100	4
14	Ferraro + Cortadoras de Corduroy	255,192	195,608	4,128	4	0,128	23,862	22,72	0,00584	65	2 1/2
15	Sanforizadora 1-2 + Compactadora 1-2	3485,52	97,928	4,06	4	0,06	23,254	22,72	0,00545	150	6
16	Jigger Mezzera	452,97	26,839	4,02	4	0,02	22,898	22,72	0,00663	80	3
17	Ollas de preparación bodega de químicos	234,6	60,51	4,04	4	0,04	23,076	22,72	0,00588	65	2 1/2
18	Fongs 5	3 034,98	16,382	4,008	4	0,008	22,7912	22,72	0,00435	150	6
19	Stalam	31,9998	19,78	4,0133	4	0,01332	22,898	22,72	0,009	25	1
20	Atyc	451,485	11,2136	4,008	4	0,008	22,7912	22,72	0,00635	80	3
21	Línea Fongs 8	6732	65,938	4,04	4	0,04	23,076	22,72	0,0054	200	8
22	Teñidora engomadora master	2232,1	18,176	4,0133	4	0,01332	22,898	22,72	0,00979	125	5
23	Barcas	1 363,50	52,767	4,03	4	0,03	22,987	22,72	0,00506	125	5
24	Scholl + Brazolli + MCS + Gaston + Air flow	4154,8	118,916	4,16	4	0,16	24,51	22,72	0,01505	125	5
25	Then 2	1 755,78	14,382	4,008	4	0,008	22,7912	22,72	0,00495	125	5
26	Jiggers + Then2 + Fongs5 + Atyc + LF8 + LS	16 488,30	64,576	4,04	4	0,04	23,076	22,72	0,00551	300	12
27	Engomadora Zell 2-3 + Sucker 4-5-6-7	10 540,64	192,469	4,128	4	0,128	23,862	22,72	0,00593	225	9
28	Lavandería	1 930,22	93,292	4,06	4	0,06	23,254	22,72	0,00572	125	5
29	Teñidoras de hilo	18 425,40	214,89	4,14	4	0,14	23,61	22,72	0,00414	300	12
30	Generadora + Master + Lavandería	4 233,47	112,163	4,06	4	0,06	23,254	22,72	0,00476	175	7
31	Línea Central	26 284	236,06	4,16	4	0,16	24,51	22,72	0,00758	300	12
						<b>TOTAL AP</b>	<b>1,40078</b>				

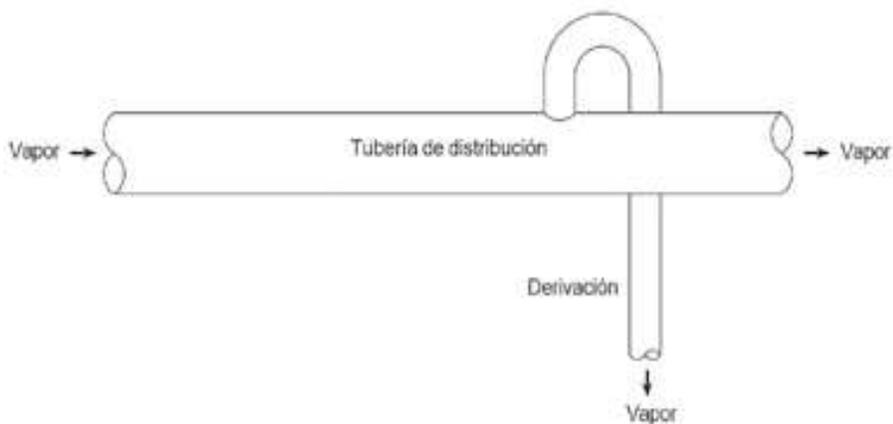
Fuente: elaboración propia.

### 3.1.2.6. Derivaciones

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

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

Figura 26. **Modo correcto de ejecutar una derivación en una tubería principal**



Fuente: Spirax Sarco. *Guía de referencia técnica distribución del vapor*. p. 21.

Actualmente se ha observado que hay varias máquinas en las que no hay derivaciones apropiadas para la distribución del vapor directa a la máquina, es por ello que se recomienda implementar la utilización de los cuellos de ganso para derivación de entrada a máquina. Esto traerá como beneficio que el vapor entrará más seco, como se dice en lo mencionado y se evitará el condensado de la línea principal.

### 3.1.3. Aislamiento térmico

Se pudo observar que algunos accesorios y tuberías están sin aislamiento térmico, lo que contribuye a que aumente la pérdida de calor en la distribución y genere mayor condensado. Se ha visto que hay tubería y accesorios sin aislar

que están a una altura en la que pueden provocarse accidentes, por lo que se recomienda el aislamiento para evitar futuras quemaduras.

Debido a lo mencionado, se debe tomar en cuenta la supervisión a los accesorios porque son igualmente indispensables como las tuberías, para evitar las pérdidas térmicas. Según los cálculos, por cada dispositivo se llega a ahorrar cantidades de kg/h de vapor; esto dependerá del diámetro del accesorio. Por ejemplo, aislar térmicamente una válvula con diámetro de 200 mm equivale a ahorrar 2 kg/h de vapor. Pero la experiencia conduce a valores notablemente mayores 0,8 a 1 kg/h por válvula de 40 a 50 mm de diámetro.

Se recomienda aislar térmicamente los accesorios por medio de colchones desmontables. Estos colchones se pueden fabricar con fibra de vidrio rellenos de lana mineral, y fijados mediante lazadas. Esta solución garantiza una larga vida a los colchones, superior a las láminas de revestimiento.

Se considera el espesor del colchón como igual al del aislamiento térmico de una tubería del mismo diámetro. A continuación, se muestra una tabla que muestra los espesores mínimos recomendados:

Figura 27. **Espesores mínimos según temperatura y material**

Temperatura °C		100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	
Diámetro tubería		Espesores de aislamiento (mm)										
ANSI (")	DIN (mm)											
1	25	30	30	40	40	50	60	60	70	80	90	
1 1/2	40	30	30	40	50	60	60	70	70	80	90	
2	50	30	40	40	50	60	70	80	80	90	100	
2 1/2	65	40	40	50	60	70	70	80	90	100	110	
3	80	40	50	50	60	70	70	80	90	110	120	
4	100	40	50	60	70	80	80	90	100	120	130	
6	150	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	
8	200	50	60	70	80	90	110	120	130	140	160	
10	250	60	70	80	90	90	110	120	130	150	170	
12	300	60	70	80	90	110	120	130	140	160	180	
14	350	60	70	80	100	110	120	140	150	170	180	
16	400	60	70	90	100	120	120	140	150	170	190	
20	500	70	80	90	110	120	130	150	160	180	200	
24	600	70	80	100	110	130	140	150	180	190	210	
Material		Fibra mineral 70				Fibra mineral 100			Fibra mineral 125			

Fuente: BUSTAMANTE, Almazán. *Bases de cálculos de tuberías*.

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/17145/ANEXO?sequence=7>. Consulta: 2 de septiembre de 2019.

- Coeficiente de conductividad térmica: el valor del coeficiente debe ser el menor posible, por lo regular se llega a obtener menor a 0,05 W/mK para una temperatura en la superficie caliente, inferior o igual a 250 °C, y una temperatura en la superficie fría, inferior o igual a 40 °C.
- Resistencia al calor: el aislante térmico, sometido a temperaturas altas, debe ser capaz de resistirlas sin que sus características experimenten cambios (el vapor de agua a una temperatura inferior a 250 °C debe resistir una temperatura de 3 000 °C).
- Resistencia al fuego: el material aislante debe ser incombustible o ignífugo.

- Resistencia mecánica: todo material debe conservar en el tiempo sus dimensiones iniciales y especialmente, ofrecer durante el servicio una óptima resistencia a los asentamientos y debilitamientos. Esto ha llevado en la práctica a evitar los materiales de densidad muy baja.
- Resistencia a la humedad: los aislantes térmicos deben mantenerse estables en una atmósfera caliente y húmeda.

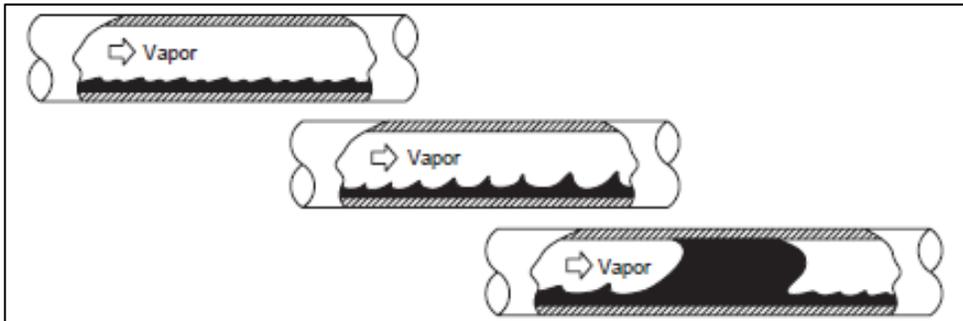
Estas características no solo son aplicables a los accesorios sino también para las tuberías.

#### **3.1.4. Golpe de ariete**

Dentro de las propuestas está la minimización del golpe de ariete en la red de vapor. A continuación, se describe el golpe y las propuestas para minimizarlo.

El golpe de ariete se produce cuando el condensado, en lugar de ser purgado en los puntos bajos del sistema, es arrastrado por el vapor a lo largo de la tubería, lo cual provoca que se detenga bruscamente al impactar contra algún obstáculo del sistema. Las gotitas o gotas de condensado acumuladas a lo largo de la tubería, con el tiempo forman una bolsa “sólida” de agua que será arrastrada por la tubería a la velocidad del vapor. Estas velocidades pueden ser de 30 km/h o más. Esta bolsa de agua es densa e incompresible y, cuando viaja a una velocidad elevada, tiene una energía cinética considerable.

Figura 28. **Formación de una bolsa sólida de agua**



Fuente: Spirax Sarco. *Guía de referencia técnica distribución del vapor*. p. 19.

Cuando se obstruye el paso, a causa de una T en la tubería o una curva, la energía cinética se convierte en un golpe de presión que al toparse con un obstáculo normalmente crea un ruido de golpe, que va acompañado del movimiento de la tubería. En los casos más serios, los accesorios pueden incluso romperse con un efecto casi explosivo, con la consecuente pérdida de vapor vivo en la ruptura, lo cual es muy peligroso.

La propuesta es evitar el golpe de ariete, lo cual se puede hacer si se toman las medidas oportunas para que no se acumule condensado en la tubería.

Las propuestas para minimizar las posibilidades de golpe de ariete son las siguientes:

- Las líneas de vapor deben montarse con una inclinación descendente en la dirección del flujo, con puntos de purga instalados a intervalos regulares y en los puntos bajos.

- Deben montarse válvulas cheque (retención) después de los purgadores, ya que de otro modo se permitiría que el condensado se introdujera de nuevo en la línea de vapor o la planta durante las paradas.
- Las válvulas de aislamiento deben abrirse lentamente para permitir que el condensado que haya en el sistema pueda fluir sin brusquedades hacia, y a través de los purgadores, antes de que el vapor a gran velocidad lo arrastre. Esto es especialmente importante en la puesta en marcha.
- Colocar eliminadores de aire en las puntas de los tramos para disminuir los golpes producidos por gases.

En la actualidad se presentan golpes de ariete ocasionalmente y por eso se hacen las recomendaciones mencionadas. Por otro lado, los golpes de ariete no han provocado de momento grandes accidentes, pero es claro que con el tiempo esto desgasta los accesorios y tuberías, por lo cual se necesitaría implementar el plan de mantenimiento a la red de vapor para tener más controlados los accesorios, uniones, tubería, entre otros.

### **3.1.5. Selección de junta de expansión**

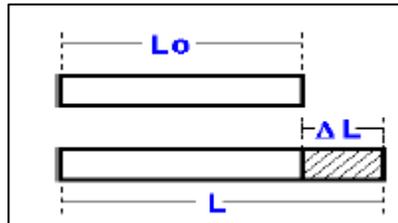
Las juntas de expansión en una tubería son elementos que absorben las deformaciones de flexibilidad que soportan las líneas de vapor al cambiar de temperatura o ser requeridas por algún esfuerzo mecánico. Pueden ser clasificadas de una manera amplia como deslizante y flexible. Para seleccionar el tipo de junta de expansión primero se determina la dilatación lineal en el punto más crítico (tramo de mayor longitud).

La dilatación lineal es aquella en la que predomina la variación en una dimensión de un cuerpo, es decir, el largo (ver figura 29). Ejemplo: dilatación en hilos, cabos y barras. Para la determinación de la dilatación térmica en la tubería se recomienda tomar el tramo más largo de tubería y dependiendo del tipo de material de la tubería (ver tabla XVIII), con lo cual se puede seleccionar una junta de expansión adecuada según su dilatación<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> CABRERA NAVARRETE, Santiago Xavier; TROYA VELASCO, David Alejandro. *Diseño de las líneas de vapor para el calentamiento de los tanques de almacenamiento de combustible de la central térmica Miraflores*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3681/1/UPS-KT00035.pdf>. Consulta: 5 de septiembre de 2021.

Figura 29. Dilatación lineal en un tramo de tubería



Fuente: CABRERA NAVARRETE, Santiago Xavier; TROYA VELASCO, David Alejandro. *Diseño de las líneas de vapor para el calentamiento de los tanques de almacenamiento de combustible de la central térmica Miraflores*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3681/1/UPS-KT00035.pdf>. Consulta: 5 de septiembre de 2021.

La ecuación que determina la dilatación lineal es:

$$L_f = L_0 (1 + \alpha \Delta t)$$

Donde:

$\alpha$ =coeficiente de dilatación lineal [ $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ]

$L_0$ = Longitud inicial.

$L_f$ = Longitud final.

$\Delta t$ = Diferencia de temperatura.

Según su naturaleza, cada cuerpo posee un coeficiente de dilatación térmica, cuyo símbolo es  $\alpha$  y su unidad de medida es  $1/^{\circ}\text{C}$  o  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ . Algunos valores son<sup>3</sup>:

---

<sup>3</sup> CABRERA NAVARRETE, Santiago Xavier; TROYA VELASCO, David Alejandro. *Diseño de las líneas de vapor para el calentamiento de los tanques de almacenamiento de combustible de la central térmica Miraflores*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3681/1/UPS-KT00035.pdf>. Consulta: 5 de septiembre de 2021.

Tabla XVIII. **Coeficientes de dilatación lineal para algunos materiales**

<b>Material</b>	<b>Coeficiente <math>\alpha</math></b>
Aluminio	0,000024
Acero	0,000011
Hormigón	0,000007 a 0,000014
Cobre	0,000018
Vidrio	0,000001 a 0,000013
Mercurio	0,000006

Fuente: CABRERA NAVARRETE, Santiago Xavier; TROYA VELASCO, David Alejandro.

*Diseño de las líneas de vapor para el calentamiento de los tanques de almacenamiento de combustible de la central térmica Miraflores.* <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3681/1/UPS-KT00035.pdf>. Consulta: 5 de septiembre de 2021.

Junta de expansión simple: la forma más simple de junta de expansión, de construcción en un solo fuelle, diseñada para absorber todo el movimiento de la sección de tubería en la cual está instalada.

Deben instalarse cada 21 pies para temperaturas de 650 °F y cada 12 pies para temperaturas de 850 °F. Generalmente, el material aislante de la tubería se interrumpe 1" y se llena con lana de vidrio de baja densidad (lana AW). En las tuberías verticales las juntas de expansión deben coincidir con la parte inferior de los anillos o soportes de aislamiento.<sup>4</sup>

### **3.1.6. Dimensiones de piernas colectoras**

Las piernas colectoras se deben calcular con base en la colecta de condensado durante las condiciones de baja presión del precalentamiento.

---

<sup>4</sup> CABRERA NAVARRETE, Santiago Xavier; TROYA VELASCO, David Alejandro. *Diseño de las líneas de vapor para el calentamiento de los tanques de almacenamiento de combustible de la central térmica Miraflores.* <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3681/1/UPS-KT00035.pdf>. Consulta: 5 de septiembre de 2021.

Es decir, que para determinar las dimensiones de la pierna colectora se basa en el diámetro de la tubería a drenar (principal o ramal) y la cantidad de condensado a evacuar en la fase de precalentamiento.

Con precalentamiento supervisado se debe usar piernas colectoras con longitud igual a 1,5 veces el diámetro de la tubería, pero nunca menos de 250 mm. Con precalentamiento automático, las piernas colectoras deben de ser de al menos 700 mm. de longitud.

Tabla XIX. **Tabla guía de piernas colectoras**

Tamaño de tubería mm	Diámetro de pierna colectora Mm	Precalentamiento supervisado mm	Precalentamiento automático mm
15	15	250	710
20	20	250	710
25	25	250	710
50	50	250	710
80	80	250	710
100	100	250	710
150	100	250	710
200	100	300	710
250	150	380	710
300	150	460	710

Fuente: elaboración propia.

En ambos casos es apropiado utilizar colectoras del mismo diámetro que el de las tuberías, hasta tuberías de 100 mm; para tamaños mayores se utilizan de la mitad del tamaño del tubo, pero nunca un tamaño menor a 100 mm.

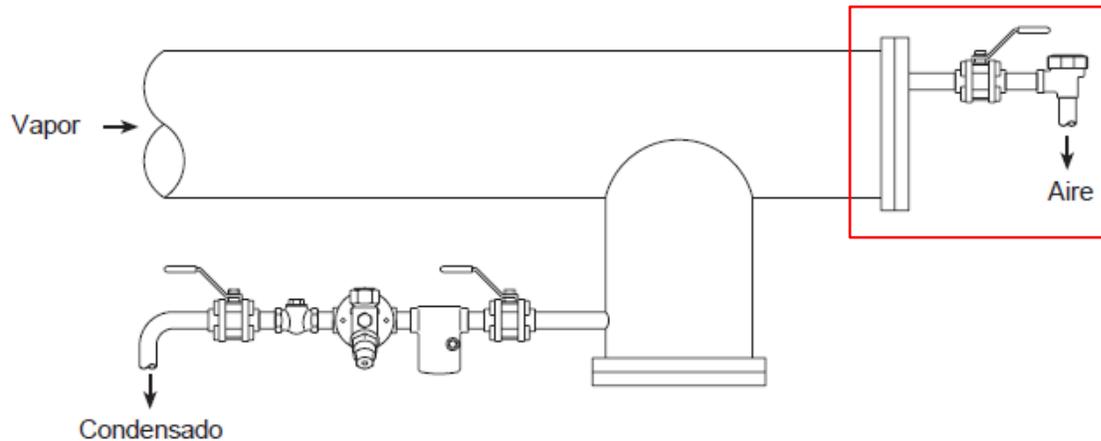
### **3.1.7. Eliminación de aire**

Es normal que en una línea de vapor se llene de aire después de un tiempo parada. Es también frecuente que, además de aire en la tubería, también se generen otro tipo de gases que no se condensan, aunque son pequeñas cantidades respecto al vapor. A pesar de que son pequeñas cantidades, si no se toman medidas para extraerlos, estos gases se acumularán en la tubería y cualquier espacio libre contribuyendo con el golpe de ariete en la tubería y el vapor baja su fluidez y eficiencia.

Otro efecto del aire en el sistema de vapor será el efecto sobre la presión y la temperatura. El aire ejercerá su presión parcial en el espacio de vapor, dando la presión total al sumar la presión del aire más la del vapor. Esto generará que la presión del vapor sea menor que la que indica el manómetro. Una capa de aire de 1 micra de espesor puede ofrecer la misma resistencia al paso del calor que una capa de agua de 25 micras de espesor, o una capa de hierro de 2 mm, o una capa de cobre de 17 mm. Por lo tanto, es importante eliminar el aire del sistema.

Los eliminadores de aire automáticos para sistemas de vapor no son más que purgadores de vapor termostáticos, los cuales se colocan en la parte superior para evitar el condensado, de forma que solo lo alcancen el vapor, el aire o mezclas de aire/vapor. La recomendación es que los eliminadores de aire se coloquen en los extremos de las líneas de vapor o derivaciones de gran diámetro.

Figura 30. **Eliminación de aire en el extremo**



Fuente: Spirax Sarco. *Guía de referencia técnica distribución del vapor*. p. 44.

La descarga del eliminador de aire se puede conducir a un lugar seguro. En la práctica, es frecuente llevarla a una línea de condensado, cuando se trata de una línea que por gravedad desciende hasta un recipiente con venteo.

Se recomienda colocar eliminadores de aire en los siguientes puntos:

- En paralelo con un purgador de cubeta invertida, ya que estos son relativamente lentos para eliminar el aire en la puesta en marcha.
- En puntos en donde hay un largo tramo de vapor y debe evitarse la mezcla de vapor/aire.

Cabe resaltar que se ha hablado de este tema, se ha ampliado y hecho recomendaciones porque actualmente en la red de tubería de distribución de vapor no hay eliminadores de aire instalados. Estos son importantes para mejorar

la presión de vapor, disminuir los golpes de ariete por venteo, evitar la mezcla de vapor/aire, mejorar el flujo y la calidad del vapor.

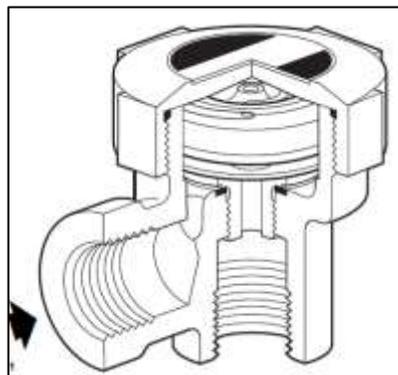
Es importante colocar eliminadores de aire porque actualmente en el plano de planta 2 Tennat, S.A. se puede ver que hay tramos largos de tubería y según la inspección en planta estos no cuentan con eliminadores de aire, lo cual hace que se presenten los problemas ya mencionados.

### 3.1.7.1. Eliminador termostático de aire

El AV13 es un eliminador termostático de presión equilibrada para sistemas de vapor, con conexiones angulares con cuerpo en latón.

El elemento operativo es una cápsula que contiene una pequeña cantidad de un líquido especial con un punto de ebullición justo por debajo de la del agua. En las condiciones frías del arranque, la cápsula está en posición de reposo. La válvula está abierta, permitiendo la salida del aire libremente. Esta característica explica porque están tan bien adaptados al venteo.

Figura 31. **Eliminador de aire para sistemas de vapor AV13**



Fuente: Spirax Sarco. *Eliminadores de aire para sistemas de vapor AV13*. p. 2.

Tabla XX. **Condiciones límite eliminador de aire termostático AV13**

Condiciones de diseño del cuerpo	PN16
PMA – Presión máxima permisible	16 bar r
TMA – Temperatura máxima permisible	260°C
PMO – Presión máxima de trabajo	13 bar r
TMO – Temperatura máxima de trabajo	225°C
Prueba hidráulica:	24 bar r

Fuente: Spirax Sarco. *Eliminadores de aire para sistemas de vapor AV13*. p. 4.

Esta es la propuesta a implementar en eliminación de aire termostática en Tennat, S.A.

### 3.1.8. Costos de mantenimiento preventivo

Para efectuar el mantenimiento sin atrasos por falta de materiales es necesario crear un abastecimiento de los mismos; de esta forma se tendrá la seguridad de tener los materiales necesarios para cualquier reparación por causa del mantenimiento o por cualquier emergencia que se pueda presentar en la red de distribución de vapor. El costo de mantener el stock de materiales se presenta en la siguiente tabla:

Tabla XXI. **Stock propuesto de mantenimiento preventivo**

Elemento	Diámetro	Precio Unitario	Cantidad	Costo Total
Válvula de fuelle de HF con brida	DN 15	Q1 569,86	1	Q1 569,86
Válvula de fuelle de HF con brida	DN 20	Q1 699,00	1	Q1 699,00
Válvula de fuelle de HF con brida	DN 25	Q2 373,69	1	Q2 373,69
Válvula de fuelle de HF con brida	DN 40	Q2 623,54	1	Q2 623,54
Válvula de fuelle de HF con brida	DN 50	Q3 310,59	1	Q3 310,59
Válvula de fuelle de HF con brida	DN 80	Q5 677,49	1	Q5 677,49
Válvula de fuelle de HF con brida	DN100	Q7 397,96	1	Q7 397,96
Válvula de fuelle de HF con brida	DN 150	Q14 795,74	1	Q14 795,74

Continuación de la tabla XXI.

Válvula de asiento con actuador neumático	1/2"	Q1 687,75	1	Q1 687,75
Válvula de asiento con actuador neumático	3/4"	Q1 865,74	1	Q1 865,74
Válvula de asiento con actuador neumático	1"	Q2 614,95	1	Q2 614,95
Válvula de asiento con actuador neumático	1 1/2"	Q3 597,53	1	Q3 597,53
Válvula de asiento con actuador neumático	2"	Q4 378,00	1	Q4 378,00
Purgador termodinámico TD52	1"	Q5 599,88	2	Q11 199,75
Purgador termodinámico TD53 con filtro	DN 25	Q11 486,35	1	Q11 486,35
Purgador de boya cerrada FT 14/10 TV	1"	Q9 485,98	1	Q9 485,98
Eliminador de aire AV 13 <sup>a</sup>	3/4"	Q4 235,99	1	Q4 235,99
Válvulas de retención roma cierre vitón	1/2"	Q133,51	2	Q267,02
Válvulas de retención roma cierre vitón	3/4"	Q170,86	2	Q341,72
Válvulas de retención roma cierre vitón	1"	Q229,93	2	Q459,87
Válvulas de retención roma cierre vitón	1 1/2"	Q447,59	2	Q895,18
Válvulas de retención roma cierre vitón	2"	Q676,58	2	Q1 353,15
Mirillas	1"	Q1 629,88	2	Q3 259,76
Manómetros (0-10 bar)	1/4"	Q42,93	25	Q1 073,25
Filtros válvula pie (rosca)	1/2"	Q4,29	4	Q17,17
Filtros válvula pie (rosca)	3/4"	Q5,15	4	Q20,61
Filtros válvula pie (rosca)	1"	Q7,04	4	Q28,16
Filtros válvula pie (rosca)	1 1/2"	Q14,34	4	Q57,35
Filtros válvula pie (rosca)	2"	Q17,77	4	Q71,09
Filtros válvula pie (rosca)	2 1/2"	Q32,88	4	Q131,54
Filtros válvula pie (rosca)	3"	Q40,96	4	Q163,82
Filtros válvula pie (rosca)	4"	Q60,45	4	Q241,78
<b>Total</b>				<b>Q97 687,64</b>

Fuente: elaboración propia.

Esta es una propuesta de inventario de mantenimiento preventivo pero debe ajustarse al presupuesto que el departamento quiera establecer, por lo que es un costo aproximado.

## **4. FASE DE DOCENCIA**

### **4.1. Introducción al tema de vapor**

Inicialmente se introdujo al personal en materia, presentando una idea básica de qué es vapor y cuál es su funcionalidad en los procesos industriales. Se resolvió algunas dudas generales sobre generación, utilización de vapor, calderas, válvulas, entre otros.

A continuación, presentamos un resumen sobre distribución y empleo del vapor, tema que fue impartido a los técnicos de planta:

El empleo del vapor como fluido térmico lleva implícito un esquema básico consistente en un punto de generación y un punto de utilización. Entre ellos debe disponerse de una red de tuberías que los enlazan y son el medio de transporte de un punto al otro.

A continuación, se abordará este sistema básico algo más desarrollado. La obtención de vapor se realiza mediante un generador que habitualmente suele ser una caldera, que emplea combustible químico para producir una temperatura suficiente para elevar la entalpía del agua con la que se alimenta hasta el valor requerido por el sistema. El agua entra en la caldera en forma de líquido subenfriado o saturado y sale de la misma en forma de vapor saturado o recalentado.

A la salida de caldera, al vapor hay que conducirlo mediante una red de tuberías adecuadas que permita disponer del mismo en el punto de utilización. Una vez en el punto de utilización, se extrae su entalpía mediante intercambio de calor. Es importante comprender la forma de aprovechamiento de la entalpía que transporta el vapor. Se ha visto en apartados anteriores la elevada entalpía de condensación que tiene como propiedad el vapor. Pues bien, precisamente esta característica es una de las fundamentales sobre las que se basa el empleo del vapor y como tal debe emplearse correctamente. De esta manera, la transferencia de calor en el punto de utilización debe basarse en aprovechar correctamente esta entalpía de condensación para que a la salida del equipo intercambiador se obtenga líquido saturado o subenfriado. Se habrá aprovechado la entalpía de condensación a  $T^a$  constante.

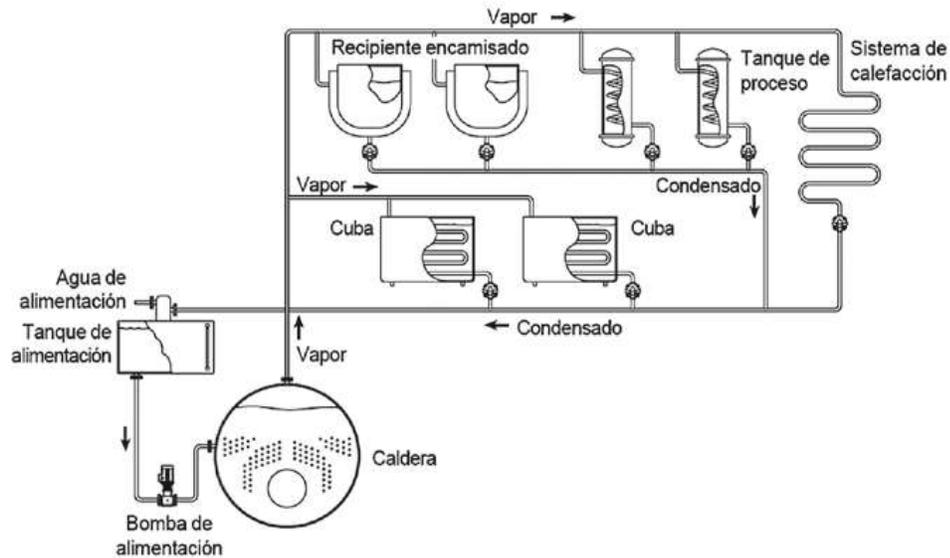
Este tipo de aprovechamiento de entalpía latente a  $T^a$  constante cursa con descenso de la presión y le confiere a la red de distribución de vapor una peculiaridad especial y es que, debido a diferencia de presiones de las dos redes, el fluido fluye sin necesidad de equipos de bombeo, reduciendo los elementos de bombeo del fluido térmico a las bombas de ingreso de condensados en caldera, con la consiguiente reducción de costes de instalación y mantenimiento.

Se concluye que en una instalación de vapor existe un generador, un punto de utilización y una red con dos ramales, uno de distribución de vapor y otro de retorno de condensados a caldera, todo ello en circuito cerrado.

A partir de este momento se va a hacer referencia, dentro de la red, a dos circuitos: el de vapor y el de condensados.

Un ejemplo sencillo de una red típica de distribución de vapor en los términos que hemos descrito puede verse en la siguiente figura:

Figura 32. **Esquema básico de una red de distribución de vapor**



Fuente: Junta de Castilla y León. *Manual técnico diseño y cálculo de redes de vapor*. p.13.

## 4.2. **Importancia del buen manejo del vapor**

El vapor es uno de los medios de energía más utilizados en industria. El manejo apropiado ayudará a la empresa a disminuir costos de operación, creando conciencia en el personal para hacer un buen uso del recurso y manejarlo responsablemente.

Aunque no hay mucha intervención humana en el proceso del vapor, es importante que los operadores tanto de la caldera como de la maquinaria sean instruidos en cuanto al tema de vapor. Primero hay que concienciarlos en cuanto al tema de la generación de vapor, pues una caldera de bunker es un generador de vapor que consume mucho recurso económico.

Básicamente, la función de los trabajadores está en hacer procesos limpios. El deber de los operadores y técnicos en cuanto al manejo de vapor debe ser el de reportar anomalías en el sistema y fugas.

La correcta manipulación del insumo es cuando no se desperdicia el mismo, por lo que una buena manipulación de vapor se hace cuando se abren y cierran llaves en el tiempo adecuado, cuando se reportan fugas y otras anomalías. Es claro que el operador no tiene contacto directo con el insumo pero sí puede supervisar que la distribución del mismo sea la adecuada. Es por ello que se capacita al personal en el tema del buen manejo como un insumo que es para procesos delicados, que no es gratuito y que tiene un costo alto por lo que cualquier desperdicio será tomado como mala manipulación del mismo.

#### **4.3. Importancia de eliminar fugas de vapor**

Es evidente que la generación de vapor es uno de los insumos más caros para una empresa pues el equipo y el tratamiento que lleva este proceso es costoso; por lo tanto, hay que cuidar el recurso para no generar costos innecesarios.

Con capacitación se logra crear conciencia en los mecánicos para que hagan un buen uso del recurso, explicándoles la necesidad de evitar estas fugas, y el por qué un desperdicio del mismo puede afectar a la empresa.

Se pretende que los mecánicos hagan reportes de fugas en el momento de ser detectadas para poder dar el mantenimiento necesario a la sección y evitar que la fuga cree problemas.

En el tema sobre fugas (capítulo 3) se probó que las pérdidas monetarias por este motivo son bastante significativas, por lo que capacitar al personal en el tema, podrá ayudar a que sea más eficientes.

#### **4.4. Sentido de urgencia en fallas**

Es claro que el sentido de urgencia es una cultura que debe prevalecer tanto en producción como en mantenimiento. Muchas veces no se mide la criticidad de una falla y esto repercute con grandes consecuencias como paros no programados que pueden afectar a la producción por días e incluso semanas.

El sentido de urgencia busca concientizar al individuo, en este caso operarios y técnicos, en el tema de no considerar cualquier falla como pequeña, sino más bien darle la debida importancia. Para ello es necesario entender qué tan crítica puede ser una falla y cuánto urge repararla. Es claro que si estamos atrasados con los pedidos y falla una pieza, para la producción es super crítico y la reparación debiese ser inmediata.

Con la capacitación se pretende que los colaboradores entiendan qué nivel de urgencia es y qué tan rápido se puede atender. En el caso del vapor, si para la caldera ya no se podrá trabajar nada que lleve vapor; por lo tanto, es una urgencia y es crítico, pero si este proceso no es en línea continua posiblemente pueda manejarse un margen más cómodo como prioridad.

Lo que se busca finalmente es unificar criterio para no tener discrepancias entre departamentos a la hora de presentarse una falla, que no se dé el problema que producción lo llame urgente cuando realmente es algo que necesita reparación, pero no es vital.



## CONCLUSIONES

1. El personal técnico de mantenimiento no cuenta con un programa de capacitación que haga seguimiento a temas que necesitan refuerzo para hacer una gestión más eficiente.
2. Se necesita hacer recambio de algunos accesorios como trampas de vapor, llaves de paso y el aislamiento térmico, ya que se encuentran en malas condiciones.
3. Dar seguimiento a las fugas de vapor, pues esto aumenta la caída de presión en el sistema. También provoca mayor trabajo en la caldera, lo cual se traduce en mayor consumo de combustible (costo).
4. Trabajar con los pozos de goteo y las purgas para mermar el tema de golpes de ariete, pues daña al equipo y reduce la calidad del vapor.
5. No se usan estaciones reguladoras de presión en los equipos y es claro que no todos los equipos funcionan a la misma presión.
6. Las reducciones no son excéntricas, sino más bien concéntricas. Suponemos que es debido a la dificultad de realizar una reducción excéntrica.



## RECOMENDACIONES

1. Elaborar un estudio para el diseño de futuras ampliaciones y ramificaciones, con el fin de evitar que la red tenga un mal funcionamiento futuro.
2. Hacer de manera correcta las futuras derivaciones y, si es posible, corregir las actuales para obtener menor ingreso de condensado a la máquina y una mejor calidad de vapor.
3. Colocar eliminadores de aire (termostáticos u otros) para reducir la cantidad de aire y gases que circulan en la tubería, reduciendo de esta manera los golpes de ariete que se generan por la humedad del aire y la velocidad del mismo para obtener un vapor de mejor calidad y energéticamente más eficiente.
4. Implementar y mantener un programa de mantenimiento preventivo no enfocado a calderas sino más bien a lo que conforma la red vapor, pues es claro que en la red también se presenta desgaste, incrustación y corrosión que en algún momento puede dañar los equipos.
5. Designar un a una persona o personas encargadas de reparar fugas de vapor, concientizándolas y capacitándolas en este tema. Además, concientizar y capacitar a los operadores acerca del gasto que representa una fuga de vapor para reportar inmediatamente cualquier fuga y darle el debido seguimiento.

6. Implementar mejoras en las piernas de condensado (pozos de goteo) siguiendo las indicaciones de colocar pozos a cada 30 – 50 m en tubería recta de gran tramo, así como también el diámetro del pozo 1,5 veces el diámetro de tubería, sin ser menos a 250 mm.
7. Colocar manómetros a la entrada de cada máquina para controlar y monitorear la presión a la llegada de los equipos, cumpliendo así con los requerimientos del fabricante.
8. Implementar el uso de estaciones reductoras de presión en equipos que utilicen una presión menor a la presión de red, cumpliendo así con los requerimientos del fabricante.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ABARCA BAHAMONDES, Pedro. *Aguas de alimentación de calderas*. ACHS. 15 p.
2. Junta de Castilla y León. *Manual técnico diseño y cálculo de redes de vapor, eficiencia energética en redes de vapor*. España: Entre regional de energía de Castilla y León, 2010. 129 p.
3. Real Academia Española. *Diccionario de la lengua española*. 23a ed. Madrid: Santillana, 2014. 2 432 p.
4. Spirax Sarco. *Guía de referencia técnica calderas y accesorios*. Buenos Aires, Argentina: Spirax Sarco, 1999. 48 p.
5. Spirax Sarco. *Eliminadores de aire para sistemas de vapor AV13*. España: Spirax Sarco, 2001. 8 p.
6. OELKER BEHN, Arnulfo. *Tratamiento de agua para calderas*. [en línea]. <[http://www.thermal.cl/docs/articulos\\_tecnicos/articulo\\_\\_\\_tratamiento\\_de\\_agua\\_en\\_calderas.pdf](http://www.thermal.cl/docs/articulos_tecnicos/articulo___tratamiento_de_agua_en_calderas.pdf)>. [Consulta: 21 de octubre de 2021].
7. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BARCELONA. *Tuberías, válvulas y accesorios*. Barcelona, España: Vam Industry. 2019. 50 p.



# ANEXOS

## Anexo 1. Factores de presión para dimensionado de tuberías

Presión bar	Volumen m <sup>3</sup> /kg	Factor de presión	Bar relativo	Volumen m <sup>3</sup> /kg	Factor de presión	Bar relativo	Volumen m <sup>3</sup> /kg	Factor de presión
0.05	28.182	0.0301	2.15	0.515	9.308	7.70	0.222	86.31
0.10	14.874	0.0115	2.20	0.568	9.597	7.80	0.219	87.79
0.15	10.322	0.0053	2.25	0.660	9.888	7.90	0.217	89.29
0.20	7.849	0.0042	2.30	0.782	10.18	8.00	0.215	90.80
0.25	6.204	0.0031	2.35	0.944	10.48	8.10	0.212	92.33
0.30	5.229	0.0020	2.40	1.136	10.79	8.20	0.210	93.88
0.35	4.530	0.0018	2.45	1.329	11.10	8.30	0.208	95.44
0.40	3.993	0.0014	2.50	1.522	11.41	8.40	0.206	97.02
0.45	3.560	0.0012	2.55	1.815	11.72	8.50	0.204	98.61
0.50	3.240	0.0010	2.60	2.109	12.03	8.60	0.202	100.22
0.55	2.964	0.0010	2.65	2.402	12.37	8.70	0.200	101.84
0.60	2.732	0.0011	2.70	2.696	12.70	8.80	0.198	103.48
0.65	2.535	0.0010	2.75	2.989	13.03	8.90	0.196	105.14
0.70	2.365	0.0010	2.80	3.283	13.37	9.00	0.194	106.81
0.75	2.217	0.0010	2.85	3.577	13.71	9.10	0.192	108.50
0.80	2.087	0.0009	2.90	3.871	14.06	9.20	0.191	110.20
0.85	1.972	0.0009	2.95	4.166	14.41	9.30	0.189	111.92
0.90	1.869	0.0009	3.00	4.461	14.76	9.40	0.187	113.66
0.95	1.777	0.0009	3.05	4.751	15.11	9.50	0.185	115.41
1.013	1.673	1.025	3.10	5.040	15.47	9.60	0.184	117.18
1.0			3.15	5.331	15.82	9.70	0.182	118.96
1.05	1.573	1.025	3.20	5.622	16.18	9.80	0.181	120.75
1.10	1.481	1.125	3.25	5.913	16.54	9.90	0.179	122.57
1.15	1.393	1.230	3.30	6.204	16.91	10.00	0.177	124.40
1.20	1.311	1.339	3.35	6.496	17.28	10.10	0.174	126.26
1.25	1.234	1.452	3.40	6.789	17.66	10.20	0.172	128.13
1.30	1.161	1.572	3.45	7.081	18.05	10.30	0.169	129.99
1.35	1.092	1.694	3.50	7.374	18.45	10.40	0.168	131.88
1.40	1.028	1.822	3.55	7.667	18.85	10.50	0.165	133.79
1.45	0.968	1.953	3.60	7.961	19.26	10.60	0.164	135.71
1.50	0.912	2.087	3.65	8.256	19.67	10.70	0.162	137.64
1.55	0.860	2.224	3.70	8.551	20.09	10.80	0.160	139.58
1.60	0.811	2.363	3.75	8.846	20.52	10.90	0.159	141.53
1.65	0.765	2.505	3.80	9.141	20.96	11.00	0.157	143.49
1.70	0.722	2.650	3.85	9.436	21.41	11.10	0.155	145.46
1.75	0.681	2.798	3.90	9.731	21.87	11.20	0.154	147.44
1.80	0.641	2.948	3.95	10.026	22.34	11.30	0.152	149.42
1.85	0.602	3.100	4.00	10.321	22.82	11.40	0.150	151.41
1.90	0.564	3.254	4.05	10.616	23.31	11.50	0.149	153.41
1.95	0.527	3.410	4.10	10.911	23.81	11.60	0.147	155.42
2.00	0.491	3.568	4.15	11.206	24.32	11.70	0.145	157.44
2.05	0.456	3.728	4.20	11.501	24.84	11.80	0.144	159.47
2.10	0.422	3.890	4.25	11.796	25.37	11.90	0.142	161.51
2.15	0.389	4.054	4.30	12.091	25.91	12.00	0.141	163.56
2.20	0.357	4.220	4.35	12.386	26.46	12.10	0.139	165.62
2.25	0.326	4.388	4.40	12.681	27.02	12.20	0.138	167.69
2.30	0.296	4.558	4.45	12.976	27.59	12.30	0.136	169.77
2.35	0.267	4.730	4.50	13.271	28.17	12.40	0.135	171.86
2.40	0.239	4.904	4.55	13.566	28.76	12.50	0.134	173.96
2.45	0.212	5.080	4.60	13.861	29.36	12.60	0.132	176.07
2.50	0.186	5.258	4.65	14.156	29.97	12.70	0.131	178.19
2.55	0.161	5.438	4.70	14.451	30.59	12.80	0.130	180.32
2.60	0.137	5.620	4.75	14.746	31.22	12.90	0.128	182.46
2.65	0.114	5.804	4.80	15.041	31.86	13.00	0.127	184.61
2.70	0.092	5.990	4.85	15.336	32.51	13.10	0.126	186.77
2.75	0.071	6.178	4.90	15.631	33.17	13.20	0.124	188.94
2.80	0.051	6.368	4.95	15.926	33.84	13.30	0.123	191.12
2.85	0.032	6.560	5.00	16.221	34.52	13.40	0.122	193.31
2.90	0.014	6.754	5.05	16.516	35.21	13.50	0.120	195.51
2.95	0.007	6.950	5.10	16.811	35.91	13.60	0.119	197.72
3.00	0.001	7.148	5.15	17.106	36.62	13.70	0.118	200.94
3.05		7.348	5.20	17.401	37.34	13.80	0.116	203.17
3.10		7.550	5.25	17.696	38.07	13.90	0.115	205.41
3.15		7.754	5.30	17.991	38.81	14.00	0.114	207.66
3.20		7.960	5.35	18.286	39.56	14.10	0.113	209.92
3.25		8.168	5.40	18.581	40.32	14.20	0.111	212.19
3.30		8.378	5.45	18.876	41.09	14.30	0.110	214.47
3.35		8.590	5.50	19.171	41.87	14.40	0.109	216.76
3.40		8.804	5.55	19.466	42.66	14.50	0.108	219.06
3.45		9.020	5.60	19.761	43.46	14.60	0.107	221.37
3.50		9.238	5.65	20.056	44.27	14.70	0.106	223.69
3.55		9.458	5.70	20.351	45.09	14.80	0.105	226.02
3.60		9.680	5.75	20.646	45.92	14.90	0.104	228.36
3.65		9.904	5.80	20.941	46.76	15.00	0.104	230.72
3.70		10.130	5.85	21.236	47.61	15.10	0.104	233.09
3.75		10.358	5.90	21.531	48.47	15.20	0.104	235.47
3.80		10.588	5.95	21.826	49.34	15.30	0.104	237.86
3.85		10.820	6.00	22.121	50.22	15.40	0.104	240.26
3.90		11.054	6.05	22.416	51.11	15.50	0.104	242.67
3.95		11.290	6.10	22.711	52.01	15.60	0.104	245.09
4.00		11.528	6.15	23.006	52.92	15.70	0.104	247.52
4.05		11.768	6.20	23.301	53.84	15.80	0.104	250.96
4.10		12.010	6.25	23.596	54.77	15.90	0.104	253.41
4.15		12.254	6.30	23.891	55.71	16.00	0.104	255.87
4.20		12.500	6.35	24.186	56.66	16.10	0.104	258.34
4.25		12.748	6.40	24.481	57.62	16.20	0.104	260.82
4.30		13.000	6.45	24.776	58.59	16.30	0.104	263.31
4.35		13.254	6.50	25.071	59.57	16.40	0.104	265.81
4.40		13.510	6.55	25.366	60.56	16.50	0.104	268.32
4.45		13.768	6.60	25.661	61.56	16.60	0.104	270.84
4.50		14.028	6.65	25.956	62.57	16.70	0.104	273.37
4.55		14.290	6.70	26.251	63.59	16.80	0.104	275.91
4.60		14.554	6.75	26.546	64.62	16.90	0.104	278.46
4.65		14.820	6.80	26.841	65.66	17.00	0.104	281.02
4.70		15.088	6.85	27.136	66.71	17.10	0.104	283.59
4.75		15.358	6.90	27.431	67.77	17.20	0.104	286.17
4.80		15.630	6.95	27.726	68.84	17.30	0.104	288.76
4.85		15.904	7.00	28.021	69.92	17.40	0.104	291.36
4.90		16.180	7.05	28.316	71.01	17.50	0.104	293.97
4.95		16.458	7.10	28.611	72.11	17.60	0.104	296.59
5.00		16.738	7.15	28.906	73.22	17.70	0.104	299.22
5.05		17.020	7.20	29.201	74.34	17.80	0.104	301.86
5.10		17.304	7.25	29.496	75.47	17.90	0.104	304.51
5.15		17.590	7.30	29.791	76.61	18.00	0.104	307.17
5.20		17.878	7.35	30.086	77.76	18.10	0.104	309.84
5.25		18.168	7.40	30.381	78.92	18.20	0.104	312.52
5.30		18.460	7.45	30.676	80.09	18.30	0.104	315.21
5.35		18.754	7.50	30.971	81.27	18.40	0.104	317.91
5.40		19.050	7.55	31.266	82.46	18.50	0.104	320.62
5.45		19.348	7.60	31.561	83.66	18.60	0.104	323.34
5.50		19.648	7.65	31.856	84.87	18.70	0.104	326.07
5.55		19.950	7.70	32.151	86.09	18.80	0.104	328.81
5.60		20.254	7.75	32.446	87.32	18.90	0.104	331.56
5.65		20.560	7.80	32.741	88.56	19.00	0.104	334.32
5.70		20.868	7.85	33.036	89.81	19.10	0.104	337.09
5.75		21.178	7.90	33.331	91.07	19.20	0.104	339.87
5.80		21.490	7.95	33.626	92.34	19.30	0.104	342.66
5.85		21.804	8.00	33.921	93.62	19.40	0.104	345.46
5.90		22.120	8.05	34.216	94.91	19.50	0.104	348.27
5.95		22.438	8.10	34.511	96.21	19.60	0.104	351.09
6.00		22.758	8.15	34.806	97.52	19.70	0.104	353.92
6.05		23.080	8.20	35.101	98.84	19.80	0.104	356.76
6.10		23.404	8.25	35.396	100.17	19.90	0.104	359.61
6.15		23.730	8.30	35.691	101.51	20.00	0.104	362.47
6.20		24.058	8.35	35.986	102.86	20.10	0.104	365.34
6.25		24.388	8.40	36.281	104.22	20.20	0.104	368.22
6.30		24.720	8.45	36.576	105.59	20.30	0.104	371.11
6.35		25.054	8.50	36.871	106.97	20.40	0.104	374.01
6.40		25.390	8.55	37.166	108.36	20.50	0.104	376.92
6.45		25.728	8.60	37.461	109.76	20.60	0.104	379.84
6.50		26.068	8.65	37.756	111.17	20.70	0.104	382.77
6.55		26.410	8.70	38.051	112.59	20.80	0.104</	

## Anexo 2. Factores de capacidad de tubería y caída de presión

Factor F	Tamaño de tubería en mm																
	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	175	200	225	250	300	
0.00016	x					30.40	35.41	40.72	46.82	52.91	59.24	65.82	72.64	79.70	87.00	94.54	102.32
	y					4.30	4.86	5.55	6.30	7.12	8.00	8.94	9.94	10.99	12.09	13.24	14.44
0.00020	x				16.18	34.32	62.77	103.0	162.0	245.0	362.0	515.0	705.0	935.0	1205.0	1515.0	1865.0
	y				3.96	4.86	5.51	6.31	7.22	8.22	9.30	10.45	11.75	13.20	14.80	16.55	18.45
0.00025	x			10.64	17.92	30.19	49.31	75.32	113.2	173.9	265.3	395.3	570.0	800.0	1090.0	1450.0	1880.0
	y			3.74	4.39	5.40	6.06	6.92	7.92	9.07	10.37	11.82	13.42	15.17	17.07	19.12	21.32
0.00030	x			11.35	19.31	31.83	52.95	82.11	124.1	191.2	285.3	415.3	590.0	820.0	1110.0	1470.0	1910.0
	y			4.13	4.73	5.92	6.65	7.60	8.70	9.95	11.35	12.90	14.60	16.45	18.45	20.60	22.90
0.00035	x			6.86	12.44	20.59	33.76	52.91	80.01	120.0	175.0	255.0	370.0	520.0	710.0	940.0	1210.0
	y			4.30	5.04	6.21	7.04	8.00	9.17	10.45	11.85	13.35	14.95	16.70	18.60	20.65	22.85
0.00045	x		3.62	7.94	14.56	23.39	37.50	57.60	86.60	128.0	185.0	270.0	390.0	550.0	750.0	1000.0	1300.0
	y		3.54	4.49	5.53	6.73	8.10	9.65	11.40	13.35	15.50	17.85	20.40	23.15	26.10	29.25	32.60
0.00055	x		4.04	8.99	16.18	26.52	42.09	64.80	97.60	144.0	208.0	300.0	425.0	585.0	795.0	1070.0	1410.0
	y		3.96	5.09	6.39	7.86	9.50	11.30	13.30	15.45	17.75	20.25	22.95	25.80	28.80	31.95	35.25
0.00065	x		4.46	9.96	17.75	28.14	44.38	68.57	103.7	155.0	225.0	325.0	455.0	620.0	830.0	1100.0	1440.0
	y		4.37	5.41	6.73	8.34	10.15	12.15	14.35	16.75	19.35	22.15	25.15	28.35	31.75	35.35	39.15
0.00075	x		4.87	10.57	19.31	31.72	49.31	75.32	113.2	173.9	265.3	395.3	570.0	800.0	1090.0	1450.0	1880.0
	y		4.77	5.98	7.37	8.92	10.65	12.55	14.60	16.80	19.15	21.65	24.35	27.20	30.20	33.35	36.65
0.00085	x		5.52	11.98	21.88	35.95	55.11	82.26	122.5	180.0	265.0	385.0	535.0	735.0	995.0	1330.0	1750.0
	y		5.41	6.78	8.34	10.15	12.15	14.35	16.75	19.35	22.15	25.15	28.35	31.75	35.35	39.15	43.15
0.00100	x	1.96	5.84	12.75	23.00	38.25	61.89	98.24	148.0	220.0	320.0	450.0	615.0	825.0	1095.0	1440.0	1875.0
	y	4.10	5.72	7.21	8.82	10.57	12.55	14.75	17.15	19.75	22.55	25.55	28.75	32.15	35.75	39.55	43.55
0.00125	x	2.10	6.26	13.57	24.96	40.72	67.57	103.8	158.8	235.8	345.8	485.8	660.8	885.8	1175.8	1550.8	2010.8
	y	4.39	6.13	7.68	9.62	11.87	14.40	17.15	20.10	23.25	26.60	30.15	33.90	37.80	41.85	46.05	50.40
0.00150	x	2.59	7.35	15.17	28.04	45.07	74.34	112.0	168.0	250.0	360.0	495.0	670.0	895.0	1190.0	1575.0	2055.0
	y	5.00	7.20	8.94	10.98	13.30	15.90	18.75	21.85	25.20	28.80	32.55	36.45	40.50	44.70	49.05	53.55
0.00175	x	2.48	7.51	16.30	29.61	48.34	80.4	122.4	182.4	268.4	392.4	532.4	700.4	910.4	1180.4	1530.4	1970.4
	y	5.19	7.36	9.22	11.28	13.63	16.28	19.15	22.25	25.60	29.15	32.90	36.80	40.85	45.05	49.40	53.90
0.00200	x	2.84	8.58	18.63	33.83	56.39	93.2	139.2	206.2	298.2	412.2	552.2	732.2	962.2	1262.2	1642.2	2112.2
	y	5.94	8.40	10.34	12.63	15.28	18.15	21.25	24.60	28.15	31.90	35.80	39.85	44.05	48.40	52.90	57.50
0.00225	x	3.16	9.48	20.75	37.25	61.30	100.0	148.0	218.0	318.0	438.0	588.0	788.0	1058.0	1408.0	1848.0	2388.0
	y	6.61	9.29	11.74	14.66	17.91	21.40	25.15	29.15	33.40	37.85	42.50	47.35	52.40	57.65	63.10	68.75
0.00300	x	3.44	10.34	22.5	40.45	66.96	113.4	168.0	248.0	358.0	498.0	668.0	878.0	1138.0	1458.0	1838.0	2338.0
	y	7.20	10.13	12.73	15.97	19.53	23.30	27.30	31.50	35.90	40.50	45.30	50.30	55.50	60.90	66.45	72.15
0.00400	x	4.17	12.50	26.91	48.25	80.91	133.3	198.0	288.0	408.0	558.0	748.0	998.0	1318.0	1708.0	2168.0	2708.0
	y	6.73	12.25	15.26	18.77	22.63	26.80	31.25	35.95	40.90	46.05	51.40	56.95	62.70	68.65	74.80	81.15
0.00500	x	4.73	14.12	30.40	54.92	90.23	148.1	222.0	322.0	442.0	592.0	782.0	1032.0	1352.0	1752.0	2232.0	2792.0
	y	9.86	13.83	17.20	21.87	26.70	31.65	36.80	42.15	47.70	53.45	59.40	65.55	71.90	78.45	85.20	92.10
0.00600	x	5.25	15.59	35.80	63.31	99.05	161.8	242.0	342.0	462.0	612.0	802.0	1052.0	1372.0	1772.0	2252.0	2812.0
	y	10.99	15.37	20.26	25.83	32.10	39.05	46.65	54.90	63.80	73.30	83.40	94.10	105.40	117.30	129.80	142.90
0.00800	x	6.08	18.34	39.23	70.12	116.2	191.5	282.0	392.0	522.0	682.0	892.0	1162.0	1502.0	1902.0	2362.0	2882.0
	y	12.72	17.97	22.20	28.22	34.86	42.10	49.95	58.40	67.45	77.10	87.40	98.30	109.80	121.90	134.60	147.90
0.01000	x	6.86	20.64	44.13	79.44	130.4	213.3	318.0	438.0	578.0	748.0	948.0	1208.0	1538.0	1938.0	2418.0	2938.0
	y	14.36	20.22	24.97	31.44	38.40	45.85	54.30	63.75	74.20	85.65	98.10	111.55	126.00	141.45	157.90	175.35
0.0125	x	7.30	22.20	47.28	87.00	140.1	232.1	342.0	462.0	602.0	772.0	982.0	1252.0	1592.0	2002.0	2482.0	3032.0
	y	15.36	21.75	26.75	33.41	40.34	48.24	57.10	66.90	77.65	89.35	102.00	115.60	130.15	145.70	162.25	179.80
0.0150	x	8.27	25.00	53.33	96.62	157.2	262.0	382.0	512.0	662.0	832.0	1032.0	1292.0	1622.0	2022.0	2492.0	3032.0
	y	17.31	24.49	30.18	37.63	45.80	54.65	64.10	74.15	84.90	96.35	108.50	121.35	134.90	149.15	164.00	179.45
0.0175	x	8.50	26.39	55.70	100.4	155.6	260.4	380.4	510.4	660.4	830.4	1030.4	1290.4	1620.4	2020.4	2490.4	3030.4
	y	17.95	25.85	31.56	39.68	48.05	57.60	68.35	79.30	90.45	102.80	116.35	131.10	146.95	163.90	181.95	201.10
0.0200	x	9.80	30.16	63.75	114.7	189.3	311.3	441.3	581.3	741.3	921.3	1121.3	1341.3	1581.3	1841.3	2111.3	2391.3
	y	20.51	29.55	36.07	44.39	53.50	63.30	73.80	85.00	96.90	109.50	122.70	136.50	150.90	165.90	181.50	197.70
0.0225	x	10.99	33.48	70.73	127.3	209.8	349.7	499.7	659.7	839.7	1049.7	1289.7	1559.7	1859.7	2179.7	2529.7	2909.7
	y	23.00	32.90	40.02	49.97	60.60	71.90	83.90	96.50	109.70	123.50	137.90	152.90	168.40	184.50	201.20	218.50
0.0300	x	12.00	36.78	77.23	137.9	228.9	391.9	541.9	711.9	891.9	1091.9	1311.9	1551.9	1811.9	2091.9	2391.9	2711.9
	y	25.11	36.03	43.70	53.63	64.31	75.70	87.70	100.30	113.50	127.30	141.70	156.70	172.30	188.50	205.30	222.70
0.0400	x	14.46	44.16	93.17	169.2	279.5	450.7	621.9	801.9	991.9	1191.9	1411.9	1651.9	1911.9	2191.9	2491.9	2811.9
	y	30.26	43.23	52.72	64.44	78.46	94.80	113.50	133.60	155.10	177.90	202.00	227.50	254.50	283.00	313.00	344.50
0.0500	x	16.43	49.53	104.4	191.2	313.8	496.7	689.7	892.7	1105.7	1338.7	1591.7	1864.7	2157.7	2470.7	2803.7	3156.7
	y	34.36	48.52	59.08	71.04	85.96	103.70	123.30	143.80	166.20	190.50	216.70	244.90	275.10	307.30	341.50	377.70
0.0600	x	18.14	52.96	115.7	210.8	343.2	536.2	739.2	952.2	1175.2	1418.2	1681.2	1964.2	2267.2	2590.2	2933.2	3296.2
	y	37.96	51.88	63.47	77.61	93.66	112.10	132.00	153.30	176.00	200.10	225.50	252.10				

**Calor necesario para producir vapor.**

**Tabla 1**

**Calor en kilojulios (kJ) requerido para producir un kilogramo de vapor, en función de la presión y la temperatura del agua de alimentación**

Presión caldera bar r	Temperatura agua de alimentación °C										
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
5	2715	2673	2631	2589	2548	2506	2464	2421	2381	2338	2295
6	2722	2680	2638	2596	2555	2513	2471	2428	2388	2345	2302
7	2727	2685	2643	2601	2560	2518	2476	2434	2393	2350	2307
8	2732	2690	2648	2607	2565	2523	2481	2439	2397	2355	2312
9	2736	2694	2653	2611	2569	2527	2485	2443	2401	2360	2316
10	2740	2698	2656	2614	2573	2531	2489	2447	2405	2363	2319
11	2743	2701	2659	2617	2576	2534	2492	2450	2408	2366	2323
12	2746	2704	2662	2620	2578	2536	2494	2452	2410	2368	2326
15	2752	2710	2668	2626	2584	2542	2500	2458	2416	2374	2332
17	2755	2713	2671	2629	2587	2545	2503	2461	2419	2377	2335
20	2759	2717	2675	2633	2591	2549	2507	2465	2423	2381	2339
25	2762	2720	2678	2636	2594	2552	2510	2468	2426	2384	2342

Continuación del anexo 3.

## Poder calorífico de combustibles.

**Tabla 2**  
**Poder calorífico de combustibles**

Tipo combustible	Viscosidad centistokes	Peso específico kg/dm <sup>3</sup>	Poder calorífico
Gas-oil	4	0,835	45.600 kJ/kg
Fuel ligero	50	0,935	43.500 kJ/kg
Fuel medio	230	0,95	43.000 kJ/kg
Fuel pesado	900	0,97	42.500 kJ/kg
Propano		0,51	49.800 kJ/kg
Gas natural			3.600 kJ/kWh