



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

**ESTUDIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRAMPAS DE
VAPOR, DE LA PLANTA DE SAPONIFICACIÓN,
EN COLGATE PALMOLIVE C.A., S.A.**

Isai Cotto Revolorio
Asesorado por Ing. Pablo Rolando Ortega Lainfiesta

Guatemala, marzo de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE
TRAMPAS DE VAPOR, DE LA PLANTA DE SAPONIFICACIÓN,
EN COLGATE PALMOLIVE C.A., S.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ISAI COTTO REVOLORIO

ASESORADO POR ING. PABLO ROLANDO ORTEGA LAINFIESTA

AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, MARZO DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Pablo Rodolfo Zúñiga Ramírez
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Figueroa Vásquez
EXAMINADOR	Ing. Anacleto Medina Gómez
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

ESTUDIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRAMPAS DE VAPOR, DE LA PLANTA DE SAPONIFICACIÓN, EN COLGATE PALMOLIVE C.A., S.A.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica con fecha 6 de junio de 2003.

Isai Cotto Revolorio

AGRADECIMIENTO

A MIS PADRES :
ANTOLÍN COTTO
ILDA REVOLORIO

Por haberme dado la confianza, oportunidad y apoyo, para terminar mis estudios universitarios. Les reconozco su gran esfuerzo y dedicación. Muchísimas gracias

COLGATE PALMOLIVE C.A.
(S.A.), EN ESPECIAL A
TODO EL *STAFF* DEL
DEPARTAMENTO DE
MANTENIMIENTO Y
SERVICIOS

Por haberme dado la oportunidad de realizar mi práctica profesional y por la confianza en mi depositada, para la elaboración de este estudio que sirvió de base para mi trabajo de graduación

A MI ASESOR

Ing. Pablo Ortega

A LA ESCUELA DE
INGENIERIA MECÁNICA Y A
LA UNIVERSIDAD DE SAN
CARLOS DE GUATEMALA

Por haberme formado como un profesional

DEDICATORIA

A MIS PADRES :
ANTOLÍN COTTO
ILDA REVOLORIO

Por haberme dado la vida, ser mi guía y modelo por seguir e inculcarme desde niño los mejores valores, que llevaré por siempre en mi corazón, y por haberme dado fuerzas para terminar mis estudios universitarios

A MANUEL ALFONSO,
ANTOLÍN Y ESDRAS

Por ser parte de lo más importante en mi vida, “mi familia”. Y para motivarlos a seguir adelante, porque el camino es muy largo, pero que con esfuerzo y dedicación se puede vencer

A MI CUÑADA KELLY Y
A MI SOBRINA EMILSE

Por haberse unido a nuestra familia, y habernos traído un poco más de felicidad. Muchas gracias

A MIS MEJORES
AMIGOS

Por haber compartido conmigo tantas aventuras, que han dejado una huella imborrable en mis pensamientos y haberme acompañado en este gran viaje hasta la vida profesional

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XIX
OBJETIVOS	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. PRINCIPIOS DE LA GENERACION Y USO EFICIENTE DEL VAPOR	1
1.1 El vapor como fuente de energía	1
1.1.1 Vapor	1
1.1.2 Condensación y evaporación	2
1.1.3 ¿Por qué el vapor puede transportar energía?	3
1.1.4 Aplicaciones del vapor	4
1.2 Principios termodinámicos del vapor	5
1.2.1 Conceptos termodinámicos	5
1.2.1.1 Presión atmosférica	5
1.2.1.2 Presión absoluta y manométrica	7
1.2.1.3 Presión de saturación	8
1.2.1.4 Entalpía	8
1.2.1.5 Calor sensible	9
1.2.1.6 Calor latente	10
1.2.1.7 Entalpía específica	10
1.2.1.8 Capacidad calorífica específica	10
1.2.1.9 Transferencia de calor	11

1.2.2	Producción de vapor a presión atmosférica	12
1.2.3	Relación de presión y temperatura de vapor	13
1.2.4	Curvas de saturación y calidad de vapor	18
1.3	Generación y distribución de vapor	22
1.3.1	Equipos de generación de vapor	22
1.3.1.1	Calderas pirotubulares	27
1.3.1.2	Calderas acuotubulares	33
1.3.1.3	Calderas de circulación controlada y forzada	37
1.3.2	Tuberías y su dimensionamiento	39
1.3.3	Válvulas	43
1.3.3.1	Válvulas de compuerta	43
1.3.3.2	Válvulas de macho	44
1.3.3.3	Válvulas de globo	45
1.3.3.4	Válvulas de bola	47
1.3.3.5	Válvulas de mariposa	48
1.3.4	Accesorios para el acondicionamiento del vapor	49
1.3.4.1	Separadores de condensado	50
1.3.4.2	Filtros	51
1.3.4.3	Venteadores y rompevacíos	52
1.3.4.4	Válvulas reductoras de presión	54
1.4	Funcionamiento de los equipos por calentamiento por vapor	60
1.4.1	Barreras para la transferencia de calor	64
1.4.2	Superficie de calefacción	66
1.4.3	Condensación de vapor en tuberías	66
1.5	Recuperación de condensado	68
1.5.1	Circuito de vapor	69
1.5.2	Bombas de recuperación de condensado	72

2.	TRAMPAS DE VAPOR	79
2.1	Tipos de trampas de vapor	81
2.1.1	Grupo termostático	82
2.1.1.1	Tipo de presión balanceada	82
2.1.1.2	Tipo de expansión líquida	84
2.1.1.3	Trampa de expansión metálica	86
2.1.1.4	Tipo bimetalico	86
2.1.2	Grupo mecánico	90
2.1.2.1	Tipo flotador libre	90
2.1.2.2	Tipo flotador y palanca	91
2.1.2.3	Tipo de balde abierto	93
2.1.2.4	Tipo de balde o cubeta invertida	95
2.1.3	Grupo termodinámico	96
2.1.4	Otros tipos de trampas de vapor	100
2.1.4.1	Trampa de impulso	100
2.1.4.2	Tipo laberinto	102
2.1.4.3	Placa de orificio	103
2.2	Selección de una trampa de vapor	104
2.3	Instalación de las trampas de vapor	112
2.4	Diagnóstico de las trampas de vapor	119
2.4.1	Trampa fallando abierta	121
2.4.2	Trampa fallando cerrada	123
2.4.3	Trampas fuera de servicio	125
2.4.4	Trampas en buen estado	125
3.	ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL DE TRAMPAS DE VAPOR	127
3.1	Descripción del sistema actual de trampeo de vapor	128
3.2	Descripción del consumo de vapor de la planta de saponificación	134

3.3	Costos de la generación de vapor para la planta de saponificación	138
3.3.1	Costo de combustible	138
3.3.1.1	Cálculo del consumo de combustible teórico	139
3.3.1.2	Consumo y costo real de combustible por parte de la planta de saponificación	142
3.3.2	Costo de los químicos agregados al agua de alimentación de calderas	143
3.3.3	Costo de la libra de vapor producida para la planta de saponificación	146
3.4	Observaciones de la instalación actual	147
3.5	Resultado del diagnóstico de trampas de vapor de la planta de saponificación	151
4.	OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRAMPAS DE VAPOR	155
4.1	Cálculo de pérdidas por trampas fallando abiertas en los equipos	156
4.2	Cálculo de ahorro por recuperación de condensado en las líneas de distribución de vapor	159
4.2.1	Cantidad de condensado a recuperar	160
4.2.2	Ahorro que representa el condensado recuperado	162
4.3	Propuesta de optimización del sistema	165
4.3.1	Detalle de las trampas instaladas actualmente y que serán cambiadas	168
4.3.2	Detalle de la ubicación de las nuevas trampas de línea propuestas (sistema de recuperación)	171
4.4	Programa de mantenimiento del sistema optimizado de vapor	174
4.4.1	Mantenimiento de trampas de vapor	175

4.4.1.1	Solución de problemas en trampas termodinámicas	177
4.4.1.2	Solución de problemas en trampas termostáticas de presión balanceada	178
4.4.1.3	Solución de problemas en trampas termostáticas de expansión líquida	179
4.4.1.4	Solución de problemas en trampas termostáticas bimetálicas	179
4.4.1.5	Solución de problemas en trampas de flotador	180
4.4.1.6	Solución de problemas en trampas de balde invertido	180
4.4.2	Mantenimiento de estaciones reductoras de presión	181
4.4.3	Mantenimiento del sistema de recuperación de condensado	182
CONCLUSIONES		185
RECOMENDACIONES		187
BIBLIOGRAFÍA		189
ANEXOS		191

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Ilustración del efecto de la presión atmosférica	6
2	Calor latente y calor sensible	9
3	Tipos de transferencia de calor	11
4	Producción de vapor a presión atmosférica	12
5	Producción de vapor a presión	14
6	Diagrama temperatura-entalpía	18
7	Fracción del diagrama temperatura-entalpía	20
8	Instalación de una caldera pirotubular horizontal	28
9	Vista de una caldera pirotubular seccionada	29
10	Caldera pirotubular de 2 pasos	31
11	Caldera pirotubular de 3 pasos	32
12	Caldera pirotubular de 4 pasos	33
13	Caldera acuatubular	36
14	Caldera de circulación forzada (supercrítica)	38
15	Válvula de compuerta	43
16	Válvula de macho	45
17	Válvula de globo	45
18	Válvula de pistón marca Klinger	47
19	Válvula de bola	48
20	Válvula de mariposa	48
21	Separador de condensado	51

22	Filtro de canasta	52
23	Venteadores	53
24	Válvula reductora de presión de acción directa	55
25	Válvula reductora de presión con piloto	56
26	Instalación de una estación reductora de presión	58
27	Utilización de la curva temperatura-entalpía para equipos de calentamiento	60
28	Variación de los niveles de energía del vapor con la presión	61
29	Tanque con serpentín calefactor	62
30	Tanque con serpentín calefactor parcialmente anegado	63
31	Películas aislantes de la transferencia de calor	64
32	Vapor y condensado en tuberías	67
33	Toma de vapor para los equipos	68
34	Circuito de vapor	71
35	Bomba de recuperación de condensado operada por vapor	73
36	Instalación de un sistema de bombeo de condensado	75
37	Trampa termostática de presión balanceada	82
38	Trampa termostática de expansión líquida	84
39	Placas bimetálicas	86
40	Trampa termostática bimetálica de simple asiento	87
41	Trampa termostática bimetálica de doble asiento	88
42	Trampa mecánica de flotador libre	90
43	Trampa mecánica de flotador y palanca	91
44	Trampa mecánica de flotador con eliminador termostático de aire	92
45	Trampa mecánica de balde abierta (cubeta abierta)	94
46	Trampa mecánica de cubeta invertida	95
47	Trampa termodinámica	97
48	Acción de cierre de una trampa termodinámica	98
49	Trampa de impulso	100

50	Trampa de laberinto	102
51	Trampeo en grupo incorrecto-trampeo individual correcto	110
52	Drenado de tuberías	112
53	Instalación de punto de drenaje	112
54	Instalación de una trampa de vapor en una marmita al pie de elevación	114
55	Instalación de trampas en líneas de tracing	115
56	Instalación de una trampa de vapor en un manifold	116
57	Instalación de trampas en finales de línea	117
58	Instalación de trampas de vapor en tuberías	117
59	Trampa luego de elevación	118
60	Instalación de trampas en un separador	118
61	Porcentajes del consumo de vapor para el mes de septiembre	136
62	Porcentajes del consumo de vapor para el mes de octubre	136
63	Porcentajes del consumo de vapor para el mes de noviembre	137

TABLAS

I	Variación de la presión atmosférica conforme la altitud	7
II	Tablas de vapor saturado (sistema ingles)	15
III	Espesores y peso por pie de las tuberías de acero al carbono comerciales	40
IV	Tabla para dimensionar tubería basada en la fórmula de Babcock	42
V	Dimensionamiento de un recibidor venteado	77
VI	Dimensionamiento de un tubo reservorio	77

VII	Grupos de trampas para vapor	81
VIII	Selección de trampas de vapor	111
IX	Inventario de trampas de vapor	130
X	Consumo de vapor de la planta de saponificación	135
XI	Galones de combustibles totales consumidos por el sistema	139
XII	Consumo de químico DGTA012	144
XIII	Consumo de químico DGTA022	144
XIV	Gasto total en químicos para el agua de alimentación de las calderas	145
XV	Datos para el cálculo del costo del vapor para saponificación	146
XVI	Diagnostico de las trampas que pudieron ser medidas	153
XVII	Tabla de orificios de las trampas de vapor	157
XVIII	Pérdidas en las trampas de vapor fallando abiertas	158
XIX	Costos y período de recuperación de la propuesta	168
XX	Trampas de línea a instalar, pertenecientes al sistema de recuperación de condensado	172
XXI	Características de la descarga de las diferentes trampas para vapor	176
XXII	Tablas de vapor saturado en sistema internacional	191
XXIII	Inventario general de trampas, diagnóstico y observaciones	195
XXIV	Guía de selección de trampas de vapor	200

LISTA DE SÍMBOLOS

HP	<i>Horse Power</i> , caballo de fuerza (potencia)
B.H.P.	<i>Boiler horse power</i> , pies cúbicos por minuto
°C	Grado centígrado
°F	Grado fahrenheit
°K	Grado kelvin
Gal.	Galón
Min.	Minuto
Seg.	Segundo
Hr.	Hora
PSI	<i>Pound square inch</i> , libra sobre pulgada cuadrada
abs.	Absoluta
psia.	Pound square inch absolute, libra sobre pulgada cuadrada absoluta
psig.	Pound square inch gauge, Libra sobre pulgada cuadrada relativa (medida o manométrica)
BTU	Unidad térmica británica (energía calorífica)
h	Entalpía
h_f	Entalpía del líquido saturado

h_g	Entalpía del vapor saturado
H_{fg}	Entalpía de evaporación o calor latente de evaporación o condensación; también es la entalpía de la mezcla
Bar abs.	Bar absoluto
KJ	Kilojoules (energía calorífica en sistema internacional)
lb.	Libra
Kg.	Kilogramo
KJ/Kg	Kilojoules por kilogramo
BTU/Gal.	Energía calorífica en BTU por galón
m	Metro
m²	Metro cuadrado
Sch.	Schedule, cédula de una tubería
Plg.	Pulgada
Ft.	Pie
mm	Milímetro

GLOSARIO

Anegamiento	Inundación o llenado parcial con condensado del volumen destinado para el vapor en un serpentín calefactor, que provoca pérdida de eficiencia en los equipos de calentamiento por vapor. En casos extremos, esta inundación del serpentín calefactor puede ser total.
by-pass	Paso alternativo para el flujo de vapor, utilizado cuando el accesorio está fuera de servicio y no se puede parar la producción.
Caldera	Actualmente se extiende este término también para el conjunto de equipos auxiliares, que forman el equipo de generación de vapor, a la que mediante el suministro continuo de agua y combustible se obtiene un flujo continuo de vapor.
Caldera acuatubular	Equipo de generación de vapor, en el que el agua circula dentro de los tubos y los gases calientes por el exterior de los mismos.
Caldera piro-tubular	Equipo de generación de vapor, en el que los gases calientes provenientes de la combustión circulan dentro de los tubos, los cuales se encuentran rodeados en el exterior por agua.

Caldera supercrítica	Equipo de generación de vapor formado por un serpentín, dentro del cual circula forzosamente el agua y se encuentra rodeado de vapor. El agua entra en un extremo y sale vapor del otro extremo del serpentín.
Calidad de vapor	Llamada también título de vapor, y se refiere a la fracción de vapor seco que se encuentra dentro del vapor húmedo. La fracción seca va de 0 a 1 (0 a 100%)
Calor latente	Es la entalpía necesaria para producir un cambio de estado en un líquido o vapor, que se realizan a temperatura constante.
Calor sensible	Es la entalpía necesaria para producir un cambio sensible o variación en la temperatura de un líquido o vapor.
Capacidad calorífica específica	Capacidad que posee una sustancia para absorber calor. Expresada en $\text{KJ/Kg.}^{\circ}\text{C}$, se define entonces como la cantidad de energía necesaria para elevar en un grado centígrado la temperatura de un kilogramo de agua.
Condensación	Cambio de estado de vapor a líquido, mediante la extracción de cantidades importantes de energía calorífica

Demanda	Flujo de vapor, que en las condiciones de trabajo se requiere para poder cumplir con los requerimientos de la producción.
Entalpía	Energía debida a la presión y temperatura de un líquido o un vapor
Evaporación	Es el cambio de estado de líquido a vapor, mediante el suministro de cantidades importantes de calor.
Isobárico	Es el proceso que se realiza básicamente a presión constante
Isotérmico	Es el proceso que se realiza básicamente a temperatura constante
Poder calorífico	Cantidad de energía calorífica que puede liberar un combustible mediante su quemado. Expresado en BTU/gal o en KJ/gal
Presión	Fuerza aplicada por una unidad de área especificada
Presión absoluta	Es la presión medida desde el cero absoluto (nivel del mar), utilizada para fines de vacío.
Presión atmosférica	Es la presión debida a la columna de aire, que se encuentra sobre el nivel del suelo

Presión de saturación	Es la presión a la cual las fases líquida y vapor se encuentran en equilibrio y cualquier adición o remoción de calor producirá un cambio de estado.
Presión manométrica	Es la presión medida o indicada en el sistema, con un manómetro común, cuyo valor se encuentra sobre la presión absoluta. En otras palabras, es la presión absoluta menos la atmosférica.
Saponificación	Es el proceso mediante el cual el cebo se transforma en grasa y glicerina, los cuales son los productos que sirven de base para el jabón de tocador.
Superficie de calefacción	Es el área que se encuentra sometida al calor suministrado, ya sea en el hogar de una caldera o serpentines calefactores, en equipos de calentamiento por vapor.
Temperatura de saturación	Es la temperatura a la cual ocurren los cambios de estado de condensación y evaporación a una presión dada
Termodinámica	Es la ciencia que estudia las relaciones entre los fenómenos mecánicos y caloríficos
Termografía	Es el método para la medición de la temperatura de distintos cuerpos, por medio de la detección de la radiación infrarroja que ellos emiten.

Trampa de vapor	Es la válvula automática para el drenado de condensado y gases no condensables (aire por ejemplo) de los sistemas de vapor
Válvulas	Son aparatos mecánicos, mediante los cuales se puede iniciar o parar el flujo dentro de una tubería
Vapor	Es el estado gaseoso del agua
Vapor húmedo	Es el vapor que se encuentra con cantidades de humedad presentes en forma de gotas, y que tiene determinada calidad de vapor o fracción de vapor seco.
Vapor saturado	Es el vapor que se encuentra libre de humedad o 100 % seco, el cual se encuentra sobre la curva de vapor saturado.
Vapor sobrecalentado	Es el vapor que tiene una temperatura mayor que la que le corresponde, a la presión a la que se encuentra.

RESUMEN

El constante crecimiento de Colgate Palmolive C.A., S.A. y la introducción de un mercado globalizado, obligan a las empresas a buscar ahorros energéticos en sus procesos de producción, y así obtener la máxima eficiencia de los equipos, para estar en mejor disposición de competir.

Un importante sistema, que en muchas ocasiones se descuida, es el de generación y distribución de vapor, y como se verá en este estudio cualquier fuga o pérdida de vapor debe ser inaceptable y, por tanto, es de vital importancia la optimización de los sistemas de vapor.

La mayoría de trampas de vapor y accesorios del sistema de vapor instalados en la planta de saponificación de Colgate Palmolive C.A., S.A. excede ya los 20 años de servicio y sin tener un adecuado mantenimiento, por lo que la eficiencia del mismo se encuentra en valores inaceptables.

Por medio del análisis termografico, se hace un diagnóstico de las trampas, para determinar cuáles son las trampas que se encuentran fallando abiertas, y cuáles se encuentran fallando cerradas, por lo que en ambos casos ocasiona un mayor consumo de vapor, mayores periodos de calentamiento de los equipos y, por consecuencia, una baja eficiencia de los mismos.

Los ahorros que fueron cuantificados en el presente estudio y que se pretenden obtener con la implementación de las recomendaciones hechas en la propuesta de optimización del sistema, son de aproximadamente Q 31011.79 mensuales, con un tiempo de retorno máximo de la inversión de 18 meses.

La optimización del sistema de vapor incluye primeramente el cambio de trampas de vapor, que se encuentren fallando abiertas o cerradas (ya que resulta igualmente perjudicial), y segundo, la introducción de un sistema de recuperación de condensado, lo cual produce ahorros importantes en consumo de agua, químicos para tratamiento del agua de reposición de las calderas, y el ahorro mas importante de todos que es el de combustible.

OBJETIVOS

- **GENERAL**

Realizar un estudio que permita definir las acciones correctivas que se van a tomar, para elevar la eficiencia en la utilización del vapor en la planta de saponificación, y con ello tener ahorros significativos en el área de generación de vapor.

- **ESPECIFICOS**

1. Conocer las bases y principios básicos de la generación y uso eficiente del vapor, en equipos de calentamiento, así como también la importancia de la recuperación de condensado.
2. Conocer cuáles son los diferentes tipos de trampas de vapor existentes, así como sus aplicaciones, selección y correcta instalación con todos sus accesorios de norma.
3. Determinar cuáles son los costos actuales de operación de la planta de saponificación, así como el estado de funcionamiento del sistema de trampas y cuáles son los problemas existentes que deben ser corregidos para elevar la eficiencia del sistema actual.
4. Cuantificar las pérdidas que se están teniendo y definir las acciones correctivas que se van a tomar, para lograr la optimización del sistema de trampas, y generar un programa de mantenimiento que permita mantener la eficiencia del sistema.

INTRODUCCIÓN

El vapor constituye un medio importante para el transporte de grandes cantidades de energía, desde la salida del equipo de generación de vapor hasta los puntos de utilización. El vapor es un fluido muy versátil, es empleado en una amplia gama de procesos en la industria, desde la aparición de la primera máquina de vapor y que dio lugar a los inicios de la revolución industrial. El vapor es utilizado tanto en máquinas de potencia, como también en equipos de calentamiento por vapor.

El vapor es utilizado para fines de calentamiento, debido a la relación estrecha que guardan la presión y temperatura del vapor. Controlando la presión del vapor, se puede ajustar exactamente una temperatura deseada. Estos conceptos, son los primeros que explicamos en el presente trabajo, ya que constituyen la base fundamental del uso eficiente de vapor.

Otros conceptos que son importantes de conocer son los de generación y distribución de vapor, en los cuales se ve reflejada la importancia de un buen diseño de un sistema de vapor, para lograr la máxima eficiencia del sistema y por lo tanto, conseguir producción de vapor que sea realmente rentable y propicia para competir en un mercado globalizado.

Luego centraremos nuestra atención en el estudio de las trampas de vapor, las cuales son válvulas para el drenado de condensado y gases no condensables de los sistemas de vapor, ya que estos constituyen una barrera para la transferencia de calor y por lo tanto reducen la eficiencia y vida útil de los equipos.

Un aspecto importante a estudiar con respecto a las trampas de vapor, lo constituyen las pruebas que se deben realizar para determinar el estado de funcionamiento o diagnóstico de una trampa de vapor. Ya que de la identificación de las trampas fallando, ya sea abiertas o cerradas, depende la optimización del sistema.

Posteriormente, se hará un análisis del sistema actual de trampas de vapor de la planta de Saponificación, comenzando por definir cuáles son los consumos y costos existentes debido a la generación de vapor para la planta. Se hará el análisis y diagnóstico de trampas de vapor y las observaciones de las principales desviaciones de instalación encontradas en los sistemas de trampeo de vapor, para definir el plan de acciones correctivas a emprender para mejorar la eficiencia del sistema.

Por último, se hace el cálculo de pérdidas de vapor, por trampas fallando abiertas y por los ahorros obtenidos debido a la recuperación de condensado y se hace la propuesta de optimización del sistema.

El propósito fundamental de este trabajo, es por tanto, servir como una guía para la elaboración de análisis de los sistemas de vapor, para lograr el máximo aprovechamiento de los recursos y por tanto, la máxima eficiencia de los equipos y del sistema. Lo anterior, indica claramente que cualquier pérdida de vapor es inaceptable, ya que repercute directamente en los costos de generación de vapor, la rentabilidad de los procesos industriales, y debido principalmente a que eleva costos de producción y reduce grandemente la vida útil y eficiencia de los equipos.

1. PRINCIPIOS DE LA GENERACIÓN Y USO EFICIENTE DEL VAPOR

En este primer capítulo, se analizarán los principios fundamentales de la generación y uso eficiente del vapor, como el primer paso para comprender los conceptos mas importantes en los sistemas de vapor; se tratará de dar respuesta a las principales interrogantes que se puedan plantear sobre los mismos, como por ejemplo: ¿qué es el vapor?, ¿cómo se genera o produce el vapor?, ¿cómo funcionan los equipos de calentamiento por vapor?, y otras interrogantes que sirven de base para comprender el funcionamiento de los sistemas de trampeo de vapor, el cual es el tema principal del presente trabajo.

1.1 El vapor como fuente de energía

El vapor ha constituido, desde la revolución industrial, un fluido indispensable para el transporte de cantidades considerables de energía para múltiples aplicaciones en la industria y en el hogar, por lo que antes de iniciar cualquier estudio de los sistemas de vapor, se deben tener claro los conceptos fundamentales que se describirán a continuación.

1.1.1 Vapor

El agua puede presentarse en cualquiera de los siguientes tres estados: el estado sólido conocido como hielo, el estado líquido que es cuando la llamamos agua y el estado gaseoso conocido como vapor. Entonces de aquí en adelante se entenderá que el vapor es el estado gaseoso del agua.

1.1.2 Condensación y evaporación

Para lograr el cambio de estado de líquido a vapor, se necesita añadir una cantidad importante de calor; conociéndose este cambio de estado como evaporación. Cuando hemos conseguido formar vapor, este se convierte en un medio para transportar la energía agregada al punto donde se necesita utilizarlo. Al liberar esta energía atrapada en el vapor, se consigue el cambio de estado de vapor a líquido; a este cambio de estado se conoce como condensación.

Los cambios de estado de evaporación y condensación, ocurren siempre a temperatura constante. Esto quiere decir que la temperatura no puede aumentar o disminuir, hasta que se haya completado el cambio de estado.

Si el agua se encuentra a presión atmosférica, y se le suministra calor desde una temperatura ambiente de 25° C, con lo que se logra incrementar su temperatura, hasta llegar al punto donde ya no puede existir como líquido; en este caso 100° C, por lo que a partir de este punto inicia el proceso de evaporación, donde cualquier cantidad extra de calor agregado servirá únicamente para lograr el cambio de estado de líquido a vapor, sin obtener ningún incremento de su temperatura. Durante todo el proceso de evaporación, el agua y el vapor permanecen a la misma temperatura, y una vez conseguida la evaporación total del líquido, empezará a incrementarse la temperatura del mismo.

Igualmente se consigue que el vapor libere la energía suministrada durante el proceso de evaporación, se logrará revertir el proceso anteriormente descrito, y ahora llamado condensación y así se obtendrá agua a la misma temperatura del vapor, que en nuestro ejemplo será de 100° C.

1.1.3 ¿Por qué el vapor puede transportar energía?

Como ya se mencionó en el inciso anterior, para evaporar el agua, primero es necesario agregarle calor (energía), para elevar la temperatura hasta el inicio de la evaporación y luego agregar una cantidad de calor adicional para lograr el cambio de estado, el cual se realiza a temperatura constante.

Ahora bien, para calentar el agua se necesita un agregar un BTU (Unidad Termal Británica), para elevar la temperatura de una libra de agua un grado Fahrenheit. Al llegar a la temperatura de evaporación, para lograr el cambio de estado se necesitan 970 BTU adicionales, para cambiar una libra de agua en vapor.

Cuando el vapor se condensa, libera toda la energía que se le ha agregado por medio del intercambio de calor. Por ejemplo, la cantidad de calor que puede ser transportado por una libra de agua, si la temperatura inicial del agua es de 100 °F, se necesita 112 BTU para calentarla a 212 °F y 970 BTU adicionales para convertirla en vapor.

Por tanto, un total de 1082 BTU habrán sido añadidos al vapor y serán liberados, conforme el vapor se condensa mediante la transferencia de calor a un medio de menor temperatura, hasta que finalmente el condensado es enfriado hasta los 100 °F.

Dado que la transferencia de calor nunca es 100% eficiente, una parte de la energía calorífica se disipa al ambiente durante el proceso de condensación. Pero gran parte de la energía del combustible quemado, puede ser absorbida por el agua y esta energía es transportada con el vapor y liberada en los puntos deseados.

1.1.4 Aplicaciones del vapor

Sin duda, el vapor es actualmente uno de los fluidos más importantes en los procesos industriales, que es usado tanto como para calentamiento, como en máquinas de potencia como las turbinas.

Desde la Antigüedad, la minería ha exigido un esfuerzo sobrehumano para extraer y acarrear el mineral. Esto hizo que en el siglo XVIII inventores franceses e ingleses, como Papin y Savery, idearan utilizar la fuerza expansiva de los gases calientes (como el vapor de agua), para accionar mecanismos mineros. Como tal, la primera máquina de vapor la construyó Thomas Newcomen, en 1712, utilizando las ideas de Papin y tras encargarse al famoso científico Robert Hooke su evaluación.

La máquina de vapor de ciclo completo fue obra del genial inventor James Watt en 1769. Watt era un escocés autodidacta que trabajaba fabricando y reparando instrumentos, incluyendo máquinas de Newcomen. Su patente, que muy modestamente fue presentada por Watt, como una mejora de lo ya existente, es una de las invenciones de mayor efecto en la historia de la humanidad.

Desde entonces, dio inicio la revolución industrial y el vapor se convirtió en uno de los más versátiles fluidos, que se utiliza en procesos de calentamiento en industrias de cocina, lavandería, hospitales, químicas y farmacéuticas, y procesos de calentamiento de la industria en general. Y también es utilizado en aplicaciones de potencia, como por ejemplo en turbinas de generación eléctrica principalmente en ingenios azucareros. De aquí en adelante, se centrará únicamente en las aplicaciones del vapor, como medio de calentamiento para distintos procesos.

1.2 Principios termodinámicos del vapor

Para poder entender mejor, cómo el vapor es un fluido tan ideal para transportar grandes cantidades de energía, ahora se verán los conceptos termodinámicos fundamentales que ayudarán a comprender cómo se realiza la transferencia de calor para los procesos de evaporación (suministro de energía) y condensación (liberación de la energía en el punto deseado). Además, se verá de qué manera se relacionan la presión y la temperatura, a la hora de interactuar en la producción de vapor, y por último, con todos estos conceptos, se podrá entender los conceptos de los tipos de vapor y la calidad del mismo.

1.2.1 Conceptos termodinámicos

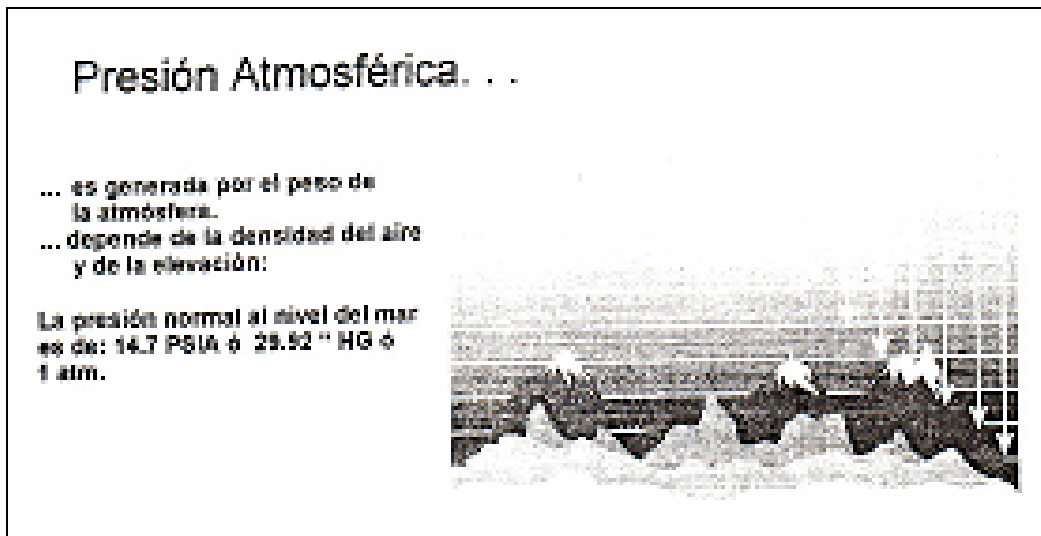
En este inciso, se explicarán brevemente los principales conceptos termodinámicos que se deben tener en consideración para el diseño de sistemas de vapor. Estos conceptos son la base para comprender toda la teoría del vapor y entre los las principales definiciones están la presión atmosférica, presión absoluta y manométrica, la presión de saturación, la entalpía, calor latente, calor sensible, la entalpía específica, transferencia de calor y capacidad calorífica específica.

1.2.1.1 Presión atmosférica:

Primero se definirá por presión aquella fuerza ejercida por unidad de área (lb/plg^2) y se dirá que la presión atmosférica actúa sobre todos nosotros y es debida a la columna de aire que se encuentra sobre el nivel del suelo. La presión atmosférica depende de la altura sobre el nivel del mar y de la densidad del aire.

La presión atmosférica tiene un valor estándar a nivel del mar de 1 atmósfera o 760 mm de mercurio, y es equivalente a 14.7 psi (libra por pulgada cuadrada o lb/plg^2) en el sistema inglés o a un bar en el sistema internacional. A continuación, en la figura 1, se presenta una ilustración de este concepto.

Figura 1. Ilustración del efecto de la presión atmosférica.



Fuente: Curso de compresores KAESER. **Principios del aire comprimido.** Pág. 5.

Como se puede ver en la figura 1, la presión atmosférica se reduce conforme aumenta la altura sobre el nivel del mar y alcanza su máximo valor a nivel del mar. Esto se explica debido a que conforme se asciende a alturas mayores sobre el nivel del mar, la cantidad de aire se reduce y con ello el peso que ejerce sobre el nivel del suelo.

A continuación, se presenta la tabla I, en donde se muestra la variación de la presión atmosférica, a distintos valores de altura sobre el nivel del mar; además, se muestra la variación de la temperatura del aire.

Tabla I. Variación de la presión atmosférica conforme la altitud

Table 60 Standard Atmosphere											
Altitude ft	Temperature		Pressure		Density lb/ft ³	Altitude ft	Temperature		Pressure		Density lb/ft ³
	F	F abs	in. Hg	psia			F	F abs	in. Hg	psia	
0	59.0	518.7	29.92	14.696	.07651	35000	-65.8	393.9	7.04	3.458	.02369
1000	55.4	515.1	28.86	14.175	.07430	36000	-67.0	392.7	6.71	3.296	.02265
2000	51.9	511.6	27.82	13.664	.07213	37000	-67.0	392.7	6.40	3.143	.02160
3000	48.3	508.0	26.81	13.168	.07001	38000	-67.0	392.7	6.10	2.996	.02059
4000	44.7	504.4	25.84	12.692	.06794	39000	-67.0	392.7	5.81	2.854	.01963
5000	41.2	500.9	24.89	12.225	.06592	40000	-67.0	392.7	5.54	2.721	.01872
6000	37.6	497.3	23.98	11.778	.06395	41000	-67.0	392.7	5.28	2.593	.01785
7000	34.0	493.7	23.09	11.341	.06202	42000	-67.0	392.7	5.04	2.475	.01701
8000	30.5	490.2	22.22	10.914	.06013	43000	-67.0	392.7	4.80	2.358	.01622
9000	26.9	486.6	21.38	10.501	.05829	44000	-67.0	392.7	4.58	2.250	.01546
10000	23.3	483.0	20.58	10.108	.05649	45000	-67.0	392.7	4.36	2.141	.01474
11000	19.8	479.5	19.79	9.720	.05474	46000	-67.0	392.7	4.16	2.043	.01405
12000	16.2	475.9	19.03	9.347	.05303	47000	-67.0	392.7	3.97	1.950	.01339
13000	12.6	472.3	18.29	8.983	.05136	48000	-67.0	392.7	3.78	1.857	.01277
14000	9.1	468.8	17.57	8.630	.04973	49000	-67.0	392.7	3.60	1.768	.01217
15000	5.5	465.2	16.88	8.291	.04814	50000	-67.0	392.7	3.44	1.690	.01161
16000	1.9	461.6	16.21	7.962	.04658	51000	-67.0	392.7	3.28	1.611	.01106
17000	-1.6	458.1	15.56	7.642	.04507	52000	-67.0	392.7	3.12	1.532	.010550
18000	-5.2	454.5	14.94	7.338	.04359	53000	-67.0	392.7	2.98	1.464	.010057
19000	-8.8	450.9	14.33	7.038	.04216	54000	-67.0	392.7	2.84	1.395	.009591
20000	-12.3	447.4	13.75	6.753	.04075	55000	-67.0	392.7	2.71	1.331	.009143
21000	-15.9	443.8	13.18	6.473	.03938	56000	-67.0	392.7	2.58	1.267	.008718
22000	-19.5	440.2	12.63	6.203	.03806	57000	-67.0	392.7	2.46	1.208	.008310
23000	-23.0	436.7	12.10	5.943	.03676	58000	-67.0	392.7	2.35	1.154	.007922
24000	-26.6	433.1	11.59	5.693	.03550	59000	-67.0	392.7	2.24	1.100	.007553
25000	-30.2	429.5	11.10	5.452	.03427	60000	-67.0	392.7	2.13	1.046	.007201
26000	-33.7	426.0	10.62	5.216	.03308	61000	-67.0	392.7	2.03	.997	.006865
27000	-37.3	422.4	10.16	4.990	.03192	62000	-67.0	392.7	1.94	.953	.006546
28000	-40.9	418.8	9.72	4.774	.03078	63000	-67.0	392.7	1.85	.909	.006239
29000	-44.4	415.3	9.29	4.563	.02968	64000	-67.0	392.7	1.76	.864	.005949
30000	-48.0	411.7	8.88	4.362	.02861	65000	-67.0	392.7	1.68	.825	.005671
31000	-51.6	408.1	8.48	4.165	.02757						
32000	-55.1	404.6	8.10	3.978	.02656						
33000	-58.7	401.0	7.73	3.797	.02558						
34000	-62.2	397.5	7.38	3.625	.02463						

Fuente: Burgess H. Jennings. Aire acondicionado y refrigeración. Pág. 188

1.2.1.2 Presión absoluta y manométrica

La **presión absoluta** se refiere a la presión total medida desde el cero absoluto y es de 1 bar abs. a nivel del mar, y se identifica con la letra a, es decir psia. Mientras que la **presión manométrica**, es medida con un manómetro convencional dentro del sistema y se identifica con la letra g, es decir psig.

En otras palabras el cero del manómetro equivale a 1 bar abs. y por ejemplo, si se lee una presión manométrica de 2 bar (relativos) se está indicando una presión absoluta de 3 bar abs., pero debido a que la presión atmosférica actúa sobre todas las cosas, para aplicaciones de ingeniería sólo se usa la presión manométrica.

1.2.1.3 Presión de saturación

Llamada también presión de vapor; es la presión, a la cual la temperatura de las fases líquida y vapor, y se encuentran en equilibrio; cualquier adición de calor transformara el líquido a vapor o la remoción de calor convertirá el vapor en líquido.

Su valor es independiente de las cantidades de líquido y vapor existentes, y como se verá más adelante para cada presión de saturación le corresponde una temperatura de saturación; estos valores son en donde ocurren los cambios de estado, tanto en la evaporación, como en la condensación.

1.2.1.4 Entalpía

La entalpía es el término utilizado para designar la energía, que se debe a la presión y a la temperatura de un fluido, líquido o vapor (tales como el agua o el vapor de agua), en cualquier momento y condición dados.

La unidad básica de medida de cualquier tipo de energía es el joule (J), ya que el joule es una cantidad de energía muy pequeña; actualmente se multiplica por 1000 y se trabaja en Kilojoules (KJ). En el sistema inglés, se utiliza el BTU (unidad termal británica).

1.2.1.5 Calor sensible

Como se menciona anteriormente, para lograr aumentar la temperatura del agua, se necesita agregar cierta cantidad de energía, pues a ésta se le llama calor sensible, y es la energía suministrada o removida a un líquido o vapor, para lograr un aumento o disminución de temperatura. En otras palabras, es la energía que permite obtener cambios sensibles de temperatura. Este concepto, junto con el de calor latente, se ilustran en la figura 2, presentada a continuación.

Figura 2. Calor latente y calor sensible



Fuente: Johnson & Johnson. Curso básico de refrigeración. Pág. 28

1.2.1.6 Calor latente

Se denomina calor latente, a la cantidad de calor que es necesario agregar o remover para lograr un cambio de estado, sin que ocurra ningún cambio de temperatura. Es por eso que se conocen dos tipos de calor latente: el calor latente de vaporización y el calor latente de condensación. El calor latente de vaporización es aquella energía que es necesaria agregar a un líquido, para lograr el cambio de estado a vapor, y el calor latente de condensación es el calor que hay que remover para lograr el cambio de estado de vapor a líquido. Este concepto se ilustra más arriba en la figura 1, donde se presenta la gráfica de temperatura versus entalpía para el vapor de agua y líquido.

1.2.1.7 Entalpía específica

Se conoce por entalpía específica o entalpía total, la energía total por unidad de masa (1 Kg); las unidades normalmente usadas son de KJ/Kg. La entalpía específica es la suma del calor latente y el calor sensible.

1.2.1.8 Capacidad calorífica específica

Es la medida de la capacidad que posee una sustancia para absorber calor, y se define como la cantidad de energía (Joules) requerida para aumentar 1 °C a 1 Kg.

La capacidad calorífica específica del agua es de 4,186 KJ/kg.°C. Significa que un aumento de 4,186 KJ, que hará aumentar en 1° C la temperatura de 1 Kg de agua. En el sistema inglés, se usa la capacidad térmica específica de 1 BTU/lb.°F, tal como se indicó anteriormente.

1.2.1.9 Transferencia de calor

La transferencia de calor es el intercambio de energía entre dos medios o cuerpos; normalmente la transferencia de calor se produce de una región de alta temperatura a una de baja temperatura, y se puede lograr por cualquiera de los siguientes métodos: Por **conducción**, que es cuando la transferencia de calor se produce a través de un material, sin que haya movimiento apreciable; por **convección**, cuando la transferencia se produce de un medio a otro con movimiento o por movimiento del material, y por ultimo **radiación**, que es cuando la transferencia se lleva a cabo a través del ambiente a un medio de baja temperatura. A continuación, en la figura 3; se ilustran estos conceptos.

Figura 3. Tipos de transferencia de calor

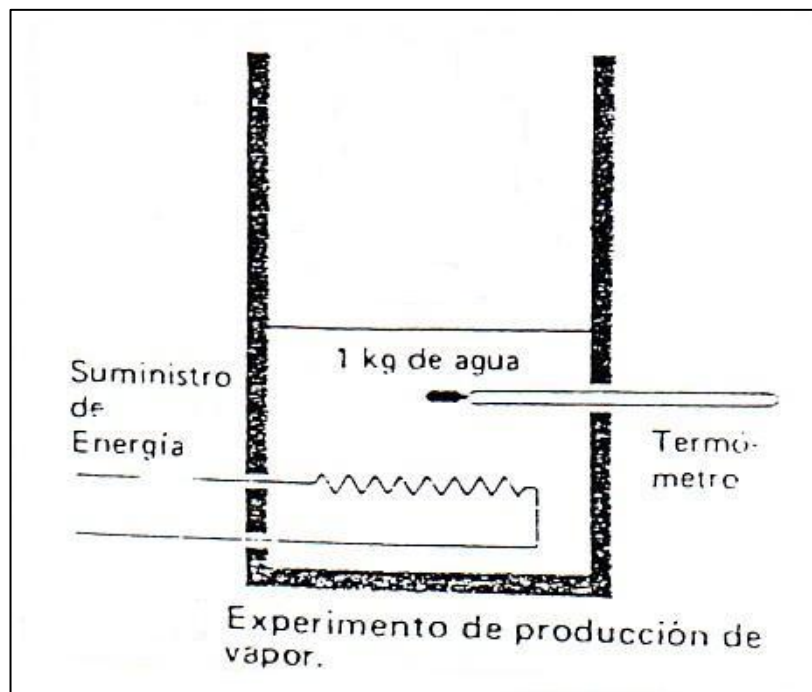


Fuente: Johnson & Johnson. **Curso básico de refrigeración.** Pág. 15

1.2.2 Producción de vapor a presión atmosférica

La producción de vapor se puede explicar de mejor manera, si se supone un cilindro como el mostrado en la figura 4, el cual se encuentra perfectamente aislado, por lo que la transferencia de calor hacia el exterior es cero y el calor suministrado es absorbido con una eficiencia del 100% por el agua, y se encuentra abierto a la atmósfera, por lo que está expuesto únicamente a la presión atmosférica.

Figura 4. Producción de vapor a presión atmosférica



Fuente: Spirax Sarco. **Curso de principios básicos de la ingeniería del vapor.** Pág. 3

Si se supone que en el cilindro se tiene 1 Kg de agua a cero grados centígrados, como punto de referencia, para que su entalpía específica sea cero. Entonces, cualquier adición de calor hará aumentar la temperatura del agua y con esto su entalpía específica.

Como el agua tiene una capacidad calorífica igual a $4,186 \text{ KJ/Kg.}^\circ\text{C}$, y la presión a la que se encuentra sometido el líquido es la atmosférica, para dar inicio a la evaporación, el agua se debe elevar hasta una temperatura de 100°C . Se requerirá entonces de un calor sensible de $418,6 \text{ KJ}$ ($100^\circ\text{C} \cdot 1 \text{ Kg} \cdot 4,186 \text{ KJ/Kg.}^\circ\text{C}$), para lograr aumentar la temperatura del agua desde 0 hasta 100°C . Al llegar a esta temperatura, cualquier cantidad de calor suministrada al agua hará que sus moléculas empiecen a vencer la fuerza de cohesión y se separen formando el vapor a la presión atmosférica; a esta cantidad extra de energía para lograr el cambio de estado de líquido a vapor se le conoce como calor latente de evaporación; para este ejemplo, es de 2257 KJ . Entonces la entalpía específica del vapor es la suma del calor latente con el calor sensible y, por tanto, es de $2675,6 \text{ KJ}$ ($2257 + 418,6$).

1.2.3 Relación de presión y temperatura de vapor

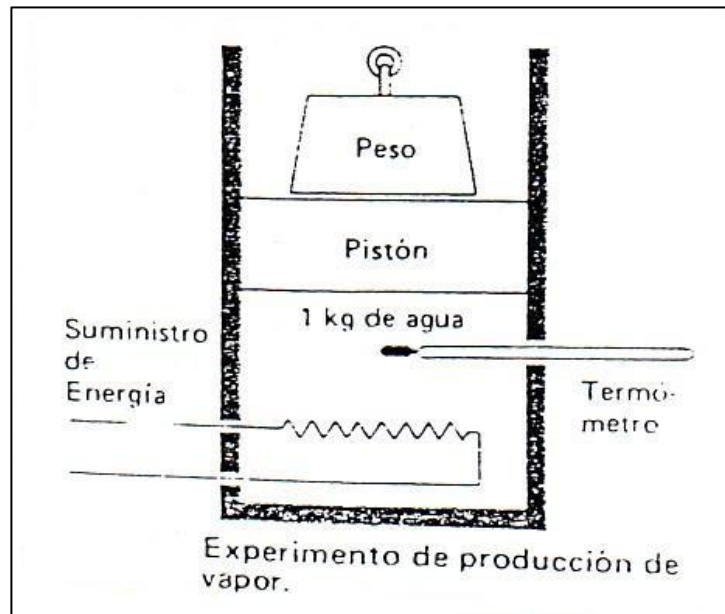
En el ejemplo anterior, se explicó la producción del vapor a presión atmosférica; ahora se explicará qué es lo que sucede cuando se varía la presión a la que es sometido el líquido que será evaporado.

Para explicarlo mejor, se supondrá de nuevo que se tiene un cilindro como el ejemplo anterior, sólo que esta ocasión este cilindro tiene en la superficie del agua un pistón libre de rozamiento y un peso encima del pistón, para generar una presión distinta a la atmosférica.

Se supondrá de nuevo que el cilindro se encuentra aislado con una eficiencia del 100% por lo el calor suministrado es absorbido en su totalidad por el agua. Además, se supondrá que se tiene dentro del cilindro 1 Kg de agua a una temperatura de 0°C , por lo que cualquier adición de calor, hará aumentar la entalpía específica del líquido.

A continuación, se presenta la figura 5, en la que se ilustra la disposición del cilindro empleado para este ejemplo.

Figura 5. Producción de vapor a presión



Fuente: Spirax Sarco. **Curso de principios básicos de la ingeniería del vapor.** Pág. 3

En este caso, al agregar calor hasta la temperatura de 100 °C, la presión existente es todavía muy fuerte y las moléculas de agua no pueden vencer la fuerza de cohesión, por lo que no empezara a evaporarse hasta que se eleve a una temperatura mayor. Esto se debe a que a cada presión de saturación le corresponde una temperatura única, por encima de la cual no puede existir como líquido y cualquier entalpía adicional, agregada evaporara el líquido.

De igual manera, a presiones de saturación inferiores, a la presión atmosférica o de vacío, para evaporar el agua se necesitará elevar la temperatura a valores inferiores de los 100 °C. A continuación se presenta la tabla II, en la que se presentan las tablas de vapor saturado para distintas presiones de saturación.

Tabla II. Tablas de vapor saturado (sistema ingles)

Figure 3: Steam Saturation Table						
Gauge Press. in Hg. Vac.	Absolute Pressure psia	Temperature Degrees F	Sensible (hf) BTU/LB	Latent (hfg) BTU/lb	Total (hg) BTU/lb	Spec. Volume Steam (Vg) ft ³ /lb
27.96	1	101.7	69.5	1032.9	1102.4	333.0
25.91	2	126.1	93.9	1019.7	1113.6	173.5
23.81	3	141.5	109.3	1011.3	1120.6	118.6
21.83	4	153.0	120.8	1004.9	1125.7	90.52
19.79	5	162.3	130.1	999.7	1129.8	73.42
17.75	6	170.1	137.8	995.4	1133.2	61.89
15.7	7	176.9	144.6	991.5	1136.1	53.57
13.66	8	182.9	150.7	987.9	1138.6	47.26
11.62	9	188.3	156.2	984.7	1140.9	42.32
9.58	10	193.2	161.1	981.9	1143.0	38.37
7.54	11	197.8	165.7	979.2	1144.9	35.09
5.49	12	202.0	169.9	976.7	1146.6	32.35
3.45	13	205.9	173.9	974.3	1148.2	30.01
1.41	14	209.6	177.6	972.2	1149.8	28.0
Gauge Pressure psig						
0	14.7	212.0	180.2	970.6	1150.8	26.8
1	15.7	215.4	183.6	968.4	1152.0	25.2
2	16.7	218.5	186.8	966.4	1153.2	23.8
3	17.7	221.5	189.8	964.5	1154.3	22.5
4	18.7	224.5	192.7	962.6	1155.3	21.4
5	19.7	227.4	195.5	960.8	1156.3	20.4
6	20.7	230.0	198.1	959.2	1157.3	19.4
7	21.7	232.4	200.6	957.6	1158.2	18.6
8	22.7	234.8	203.1	956.0	1159.1	17.9
9	23.7	237.1	205.5	954.5	1160.0	17.2
10	24.7	239.4	207.9	952.9	1160.8	16.5
11	25.7	241.6	210.1	951.5	1161.6	15.9
12	26.7	243.7	212.3	950.1	1162.3	15.3
13	27.7	245.8	214.4	948.6	1163.0	14.8
14	28.7	247.9	216.4	947.3	1163.7	14.3
15	29.7	249.8	218.4	946.0	1164.4	13.9
16	30.7	251.7	220.3	944.8	1165.1	13.4
17	31.7	253.6	222.2	943.5	1165.7	13
18	32.7	255.4	224.0	942.4	1166.4	12.7
19	33.7	257.2	225.8	941.2	1167.0	12.3
20	34.7	258.8	227.5	940.1	1167.6	12
22	36.7	262.3	230.9	937.8	1168.7	11.4
24	38.7	265.3	234.2	935.8	1170.0	10.8
26	40.7	268.3	237.3	933.5	1170.8	10.3
28	42.7	271.4	240.2	931.6	1171.8	9.87
30	44.7	274.0	243.0	929.7	1172.7	9.46
32	46.7	276.7	245.9	927.6	1173.5	9.08
34	48.7	279.4	248.5	925.8	1174.3	8.73
36	50.7	281.9	251.1	924.0	1175.1	8.40
38	52.7	284.4	253.7	922.1	1175.8	8.11
40	54.7	286.7	256.1	920.4	1176.5	7.83
42	56.7	289.0	258.5	918.6	1177.1	7.57
44	58.7	291.3	260.8	917.0	1177.8	7.33
46	60.7	293.5	263.0	915.4	1178.4	7.10
48	62.7	205.6	265.2	913.8	1179.0	6.89
50	64.7	297.7	267.4	912.2	1179.6	6.68
52	66.7	299.7	269.4	901.7	1180.1	6.50
54	68.7	301.7	271.5	909.2	1180.7	6.32
56	70.7	303.6	273.5	907.8	1181.3	6.16
58	72.7	305.5	275.3	906.5	1181.8	6.00
60	74.7	307.4	277.1	905.3	1182.4	5.84
62	76.7	309.2	279.0	904.0	1183.0	5.70
64	78.7	310.9	280.9	902.6	1183.5	5.56
66	80.7	312.7	282.8	901.2	1184.0	5.43
68	82.7	314.3	284.5	900.0	1184.5	5.31

Continuación de tabla II

Figure 3 (Cont.): Steam Saturation Table

Gauge Pressure psig	Absolute Pressure psia	Temperature Degrees F	Sensible (hf) BTU/LB	Latent (hfg) BTU/lb	Total (hg) BTU/lb ft ³ /lb	Specific Volume Steam (Vg)
70	84.7	316.0	286.2	898.8	1185.0	5.19
72	86.7	317.7	288.0	897.5	1185.5	5.08
74	88.7	319.3	289.4	896.5	1185.9	4.97
76	90.7	320.9	291.2	895.1	1186.8	4.87
78	92.7	322.4	292.9	893.9	1187.2	1.77
80	94.7	323.9	294.5	892.7	1187.6	1.37
82	96.7	325.5	296.1	891.5	1188.3	1.25
84	98.7	326.9	297.6	890.3	1188.7	1.19
86	100.7	328.4	299.1	889.2	1189.1	1.10
88	102.7	329.9	300.6	888.1	1189.3	4.33
90	104.7	331.2	302.1	887.0	1189.7	4.25
92	106.7	332.6	303.5	885.8	1190.0	4.17
94	108.7	333.9	304.9	884.8	1190.3	4.10
96	110.7	335.3	306.3	883.7	1191.2	4.03
98	112.7	336.6	307.7	882.6	1191.5	3.96
100	114.7	337.9	309.0	881.6	1191.8	3.90
102	116.7	339.2	310.3	880.6	1192.3	3.83
104	118.7	340.5	311.6	879.6	1192.5	3.77
106	120.7	341.7	313.0	878.5	1192.8	3.71
108	122.7	343.0	314.3	877.5	1193.0	3.65
110	124.7	344.2	315.5	876.5	1193.3	3.60
112	126.7	345.4	316.8	875.5	1194.0	3.54
114	128.7	346.5	318.0	874.5	1194.5	3.49
116	130.7	347.7	319.3	873.5	1195.1	3.44
118	132.7	348.9	320.5	872.5	1195.7	3.39
120	134.7	350.1	321.8	871.5	1196.2	3.34
125	139.7	352.8	324.7	869.3	1196.6	3.23
130	144.7	355.6	327.6	866.9	1197.1	3.12
135	149.7	358.3	330.6	864.5	1197.5	3.02
140	154.7	360.9	333.2	862.5	1197.9	5.93
145	159.7	363.5	335.9	860.3	1198.3	2.84
150	164.7	365.9	338.6	858.0	1198.8	2.76
155	169.7	368.3	341.1	856.0	1199.1	2.68
160	174.7	370.7	343.6	853.9	1199.3	2.61
165	179.7	372.9	346.1	851.8	1199.5	2.54
170	184.7	375.2	348.5	849.8	1199.7	2.48
175	189.7	377.5	350.9	847.9	1199.8	2.41
180	194.7	379.6	353.2	845.9	1200.1	2.35
185	199.7	381.6	355.4	844.1	1200.4	2.30
190	204.7	383.7	357.6	842.2	1200.5	2.24
195	209.7	385.7	359.9	840.2	1200.5	2.18
200	214.7	387.7	362.0	838.4	1201.0	2.14
210	224.7	391.7	366.2	834.8	1201.5	2.04
220	234.7	395.5	370.3	831.2	1202.0	1.96
230	244.7	399.1	374.2	827.8	1202.5	1.88
240	254.7	402.7	378.0	824.5	1202.5	1.81
250	264.7	406.1	381.7	821.2	1202.9	1.74
260	274.7	409.3	385.3	817.9	1203.2	1.68
270	284.7	412.5	388.8	814.8	1203.6	1.62
280	294.7	415.8	392.3	811.6	1203.9	1.57
290	304.7	418.8	395.7	808.5	1204.2	1.52
300	314.7	421.7	398.9	805.5	1204.4	1.47
310	324.7	424.7	402.1	802.6	1204.7	1.43
320	334.7	427.5	405.2	799.7	1204.9	1.39
330	344.7	430.3	408.3	796.7	1205.0	1.35
340	354.7	433.0	411.3	793.8	1205.1	1.31
350	364.7	435.7	414.3	791.0	1205.3	1.27
360	374.7	438.3	417.2	788.2	1205.4	1.24
370	384.7	440.8	420.0	785.4	1205.4	1.21
380	394.7	443.3	422.8	782.7	1205.5	1.18
390	404.7	445.7	425.6	779.9	1205.5	1.15
400	414.7	448.1	428.2	777.4	1205.6	1.12
420	434.7	452.8	433.4	772.2	1205.6	1.07
440	454.7	457.3	438.5	767.1	1205.6	1.02

Fuente: Spirax Sarco. Design of fluid systems. Pág. 8

Como se ve en las tablas de vapor, a cada presión le corresponde una temperatura de saturación, a la cual ocurren los cambios de estado. Por ejemplo, para una presión de 70 PSI (5 bar) le corresponde una temperatura de saturación de 316 °F (157,8 °C). Precisamente, a mayor presión de saturación, mayor temperatura de evaporación, y a menor presión de saturación, menor temperatura. Para explicar este fenómeno de mejor manera, se tiene por ejemplo, una olla simple la cual se encuentra abierta a la presión atmosférica, por tanto, la temperatura de evaporación del agua es de 100 °C, que es la temperatura a la cual esta olla cocerá los alimentos. En cambio, si se supone que se tiene una olla de presión, que se encuentra a una presión de 5 bares, la temperatura de evaporación que le corresponde a dicha presión es de 157,8 °C, por lo cual es de esperar que el tiempo de cocimiento de los alimentos sea menor, debido a que se utiliza una mayor temperatura. En los anexos (anexo1), se presenta la tabla de vapor saturado para el sistema internacional.

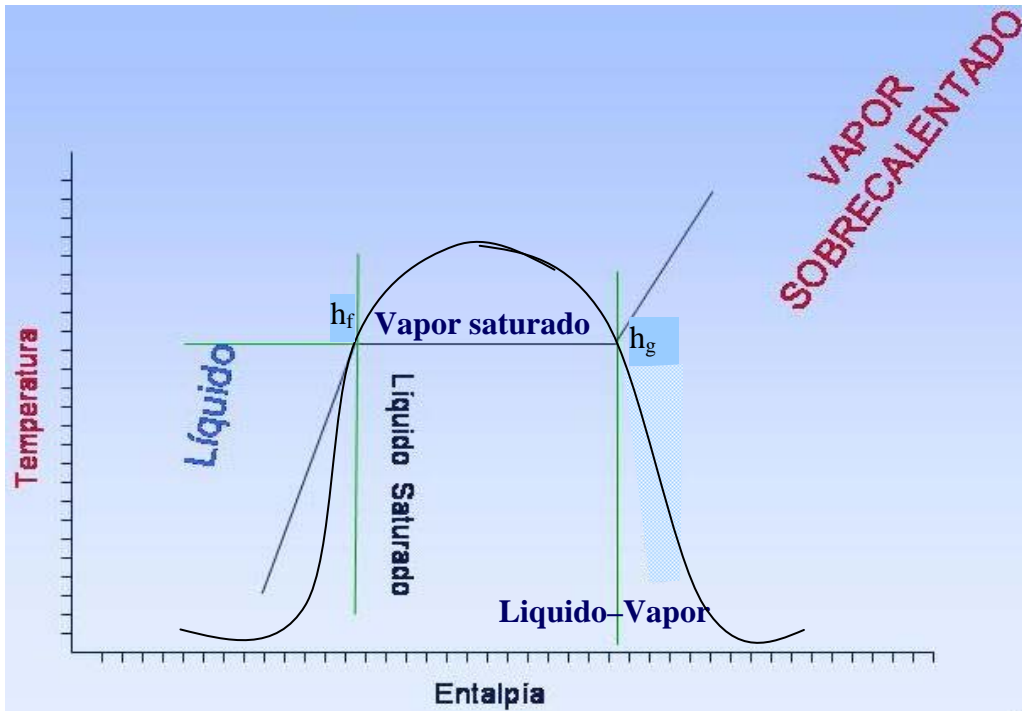
En cambio si supone que se sube a una montaña que se encuentra a una altura de 3048 mt (10000 fts. sobre el nivel del mar), donde la presión atmosférica tiene un valor de 0.7 bar (10.108 PSI), la temperatura de evaporación del agua sería de tan sólo 70 °C aproximadamente.

Ahora que ya se ha comprendido mejor la relación de la presión y la temperatura en la producción de vapor, se dirá que el vapor a presión atmosférica y menores, no tiene aplicación en la industria, por lo que de aquí en adelante se centrará el estudio en la producción de vapor a presión (presión mayor de la atmosférica), tal y como en la realidad se aplica en la generación del vapor en las calderas y se centrará en las presiones más utilizadas en la industria que son de 100 PSI (6.9 bar) con una temperatura de evaporación de 337.9 °F (170 °C), y también el vapor a una presión de 200 PSI (13.8 bar), en donde el vapor tendría una temperatura de evaporación de 387.7 °F(197.6 °C).

1.2.4 Curvas de saturación y calidad de vapor

A continuación, en la figura 6, se presenta la gráfica de temperatura-entalpía, para explicar mejor el fenómeno de la producción de vapor:

Figura 6. Diagrama temperatura-entalpía



Fuente: Johnson & Johnson. **Curso básico de refrigeración.** Pág.

En la figura 6, se puede observar cómo se realiza el proceso de evaporación sobre líneas de presión constante. Al iniciar el suministro del calor sensible, se llegará hasta la temperatura de saturación a presión atmosférica, que es de 100 °C; en este punto, se estará sobre la curva de la campana del lado de líquido saturado, donde el líquido tiene una entalpía h_f (entalpía del líquido saturado), y para lograr la evaporación se debe suministrar suficiente calor para conseguir el cambio de estado y se avanzará sobre la curva a temperatura constante, hasta tocar el otro extremo de la curva llamada de vapor saturado y, en este punto se tiene una entalpía h_g (entalpía del vapor saturado).

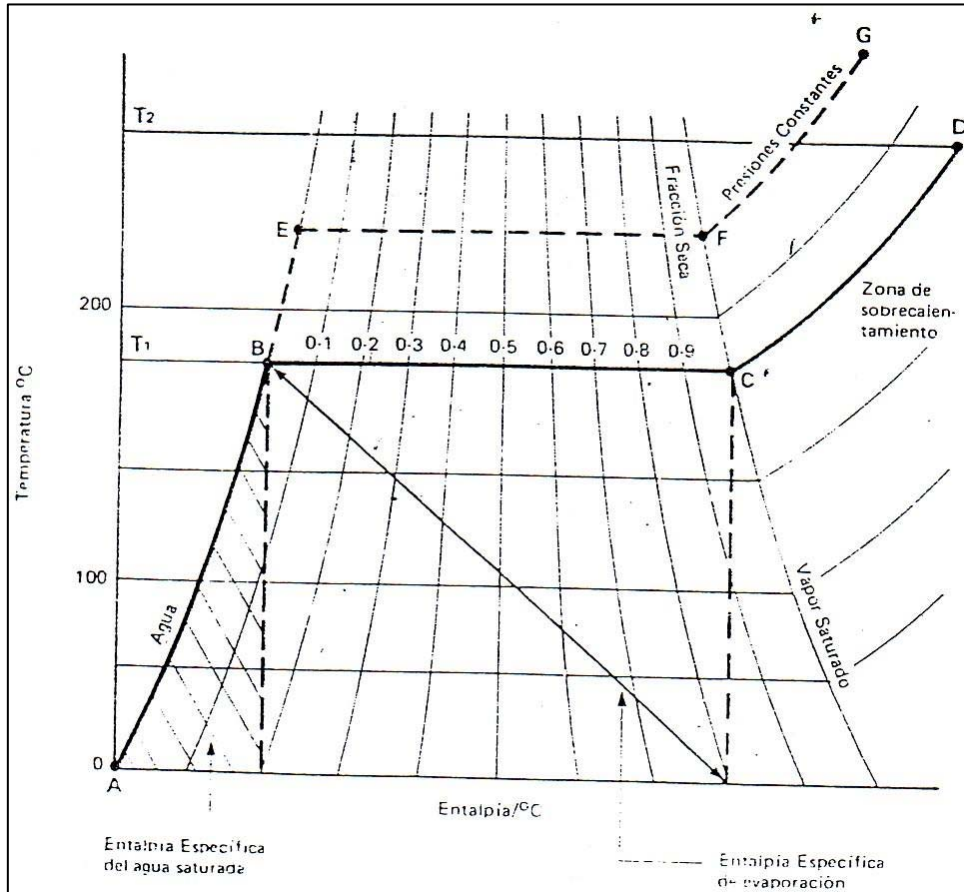
A la resta de h_g-h_f se le conoce como entalpía de evaporación o calor latente de evaporación y es identificada como h_{fg} ; ésta es la cantidad necesaria de energía que hay que agregarle a líquido saturado para convertirlo en vapor saturado, el cual es un vapor 100% seco, que tiene un 0% de humedad.

Como se ha mencionado, los procesos de evaporación y condensación se realizan a temperatura constante, y una vez que se ha llegado al lado de la curva de vapor saturado, la temperatura empieza a incrementarse nuevamente, hasta llegar a una nueva calidad de vapor, conocida como **vapor sobrecalentado**, el cual es un vapor que tiene una temperatura mayor que la que le corresponde a la presión a la que se encuentra.

Ahora se enfocará la parte de la curva, situada entre los puntos de líquido saturado y vapor saturado, el cual es un **vapor húmedo**, que tiene una calidad de vapor de $x\%$ (refiriéndose al porcentaje de vapor seco presente en la mezcla) y una entalpía menor de la le corresponde como vapor saturado. La calidad del vapor va del 0 al 100%, que es el valor de 0% el líquido saturado (0% de fracción seca), y el valor de calidad de vapor igual a 100% para el vapor saturado (100% vapor seco).

En la figura 7, se ve la curva de líquido saturado denominada agua; en el otro extremo, se encuentra la curva de de vapor saturado. Además, se ve la región de calor sensible (entalpía específica del agua saturada A-B), la región de calor latente (entalpía específica de evaporación B-C), la zona de sobrecalentamiento o vapor sobrecalentado, en la cual empieza a aumentar nuevamente la temperatura (C-D), y la región de vapor húmedo en donde se tiene una fracción seca o calidad de vapor. Además, se presenta cómo quedaría la gráfica a una presión mayor, representado por la curva AEFG.

Figura 7. Fracción del diagrama temperatura-entalpía



Fuente: Spirax Sarco. **Curso de principios básicos de la ingeniería del vapor.** Pág. 6

Las tablas de vapor, muestran las propiedades del vapor saturado seco (100% seco), el cual no contiene gotas de agua líquida. En la práctica, el vapor a menudo arranca gotas de agua, por lo que se describe como vapor húmedo (valores de calidad entre 0 y 100%). Sin embargo, para procesos de calefacción como los descritos en el presente estudio, el vapor debe ser lo más seco posible, y para ellos se usan accesorios para mejorar la calidad de vapor, los cuales se expondrán más adelante. Como se mencionó anteriormente, la calidad de vapor se describe mediante la fracción seca presente en la mezcla. Por ejemplo, la entalpía del vapor a 7 bar, con una fracción seca del 0,95 (95%), se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$h = h_f + xh_{fg}$$

Donde x es la calidad de vapor o fracción seca que compone al vapor; h_f es la entalpía del líquido a la presión de saturación y h_{fg} es la resta de $h_g - h_f$ a la presión mencionada o entalpía de la mezcla.

Para el ejemplo mencionado: $x = 0,95$; $h_f = 721,4$ KJ/Kg; $h_{fg} = 2047,7$ KJ/Kg. Al introducir estos valores en la fórmula mencionada, se obtiene que la entalpía del vapor húmedo es de 2666,7 KJ/Kg. Este valor representa una reducción de entalpía, respecto a la entalpía del vapor saturado de 102,4 KJ/Kg.

Las pequeñas gotas de agua en el vapor pesan, pero ocupan un volumen despreciable. El volumen de vapor húmedo es menos que el del vapor seco. El volumen del vapor húmedo con el del vapor seco, se relacionan mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen del vapor húmedo} = \text{Volumen del vapor seco} * \text{fracción seca (x)}$$

Las gotas en suspensión, en el vapor húmedo, son las que hacen visible el vapor, ya que el vapor seco es transparente. Mientras haya agua presente en el vapor, la temperatura permanece constante y es la que se encuentra en las tablas de vapor. Sin embargo, si se continúa la transferencia de calor después de evaporado el 100% del líquido, la temperatura se incrementará y se hablará de vapor sobrecalentado, el cual tiene una temperatura mayor que la que le corresponde.

El vapor saturado es fácilmente condensable, debido a que tiene únicamente calor latente, mientras que el vapor sobrecalentado primero cede calor sensible y disminuye su temperatura hasta la de saturación.

1.3 Generación y distribución de vapor

Esta sección se centrará en los equipos de generación de vapor y en los sistemas de distribución de vapor, los cuales están compuestos por las tuberías, válvulas y equipos de acondicionamiento del vapor, como filtros, separadores de humedad y reguladoras de presión, para tener una idea general de cómo se genera y se distribuye el vapor en un sistema de vapor.

1.3.1 Equipos de generación de vapor

Cuando se habla de caldera, se refiere por lo común a todo el conjunto de equipos auxiliares, que conforman un equipo de generación de vapor. Las calderas o generadores de vapor son instalaciones industriales en las que aplicando el calor proveniente de la combustión de un combustible sólido, líquido o gaseoso, vaporizan el agua para aplicaciones en la industria. Por lo regular, en la mayoría de aplicaciones industriales, se utiliza el combustible aceite pesado #6, conocido generalmente como búnker, el cual tiene un poder calorífico de 153,600 BTU/gal, que es utilizado como fuente de energía para el calentamiento del agua dentro de la caldera.

En general, se denomina **caldera** al recipiente en que se calienta el agua para convertirla en vapor. Por extensión, se conoce también con este nombre, no solamente dicho recipiente, sino también a los elementos anexos, como el hogar donde se quema el combustible que produce el calor necesario, los conductos de humos de combustión, los calentadores de aire de combustión, los economizadores de agua de alimentación, los recalentadores de vapor, etc.,. Es decir que, en términos generales, se denomina caldera a todo sistema a presión en el que el agua se transforma en vapor, como producto final, por cesión de calor de una fuente a temperatura superior.

Muchas veces, se reserva el nombre de caldera cuando la presión de vapor es baja, y se denomina *generador de vapor*, si el funcionamiento se efectúa a altas presiones de vapor. Si el dispositivo utiliza los gases o humos de combustión producidos en un hogar independiente, se denomina **caldera de recuperación**. Finalmente, cuando se utiliza para calentar otro fluido (generalmente agua o vapor a presión), lleva el nombre de **cambiador de calor o, también, el de intercambiador de calor**.

Los factores que intervienen en el funcionamiento de una caldera son los siguientes:

- a. Superficie de calefacción
- b. Cantidad de aire suministrado al hogar
- c. Clase y calidad de combustible
- d. Presión de vapor.

Se denomina **superficie de calefacción** a la parte de la caldera sometida al calor del hogar. Es fácil comprender que cuanto mayor sea esta superficie, mejor será el funcionamiento de la caldera. Se puede decir que una buena parte de la evolución constructiva de las calderas ha estado orientada a aumentar todo lo posible la superficie de calefacción de éstas.

Las partes de la caldera, que se encuentran en el hogar directamente expuestas a las llamas, constituyen la *superficie de calefacción por radiación*, ya que en dichas partes la transmisión del calor se realiza por radiación; por otra parte, la *superficie de calefacción por convección* está constituida por las partes de la caldera que están en contacto con los humos o gases de la combustión, porque en esta zona la transmisión del calor se realiza, principalmente, por convección.

Además, se distinguirán las *superficies de precalentamiento*, que calientan el agua de alimentación o el aire de combustión; las *superficies de vaporización*, que son las que conducen el calor al agua de la caldera, para producir vapor saturado, y las *superficies de recalentamiento* que aumentan el estado (calidad) del vapor producido en la caldera, para convertirlo en vapor recalentado.

La importancia de la **cantidad de aire suministrado al hogar** está en que el régimen de combustión depende de la rapidez con que es posible hacer entrar el aire, para que se ponga en íntimo contacto con el combustible. El oxígeno necesario para la combustión se suministra por medios naturales y artificiales; en ambos casos, se necesita una chimenea; en el primero, para crear el tiro natural, y en el segundo, para dar salida a los productos de la combustión, el tiro mecánico o artificial (tiro forzado).

Es muy fácil comprender que la **clase y calidad de combustible** influirá sobre el funcionamiento de la caldera. De esto depende la cantidad del calor que puede ser suministrado y transferido hasta el agua y también la cantidad de vapor generado por la caldera.

Para comprender la importancia que tiene la **presión del vapor** en el funcionamiento de una caldera, se deben recordar algunos conceptos sobre las propiedades del vapor de agua. A la presión atmosférica, el vapor comienza a formarse a unos 100° C y, por lo tanto, a esta temperatura su sobrepresión es nula. Si se continúa comunicando calor al agua, aumenta la sobrepresión y la temperatura del vapor. En una caldera se trabaja a presiones manométricas de 100 y 200 PSI, ya que son las presiones normales utilizadas para la mayoría de procesos en la industria.

Como en un principio, el vapor está en contacto con el agua en ebullición, a su misma temperatura, y arrastrará siempre agua consigo, que recibe el nombre de *vapor saturado*; el vapor saturado no es ideal para el accionamiento de las turbinas de vapor, por lo que para disminuir la humedad que contiene, es decir, para secarle, hay que comunicarle calor hasta vaporizar todo el agua que contiene; esto se consigue elevando la temperatura del vapor hasta un límite superior a la temperatura de la caldera; a esto se denomina *recalentar* el vapor, que pasará sucesivamente por los grados de *vapor saturado húmedo*, *vapor saturado seco* y *vapor sobrecalentado*. Al recalentarse, el vapor aumenta de volumen y se suprimen las condensaciones, que tantas pérdidas de calor ocasionan; además el rendimiento de las máquinas motrices es tanto mejor, cuanto mayor sea el grado de recalentamiento del vapor. Lo anterior sólo es una ejemplificación de la utilización del vapor en turbinas de vapor, ya que para propósito del presente estudio, éste se centrará en el uso del vapor para equipos de calentamiento.

Ya que se ha definido los principales factores que afectan el funcionamiento de las calderas, ahora se explica cuáles son las principales partes de que se componen las calderas. Las calderas están compuestas principalmente por dos partes: 1. La cámara de agua, y 2. La cámara de vapor.

1. Cámara de agua.

Recibe este nombre el espacio que ocupa el agua en el interior de la caldera. El nivel de agua se fija en su fabricación, de tal manera que sobrepase en unos 15 cms. por lo menos, a los tubos o conductos de humo superiores. Con esto, a toda caldera le corresponde una cierta capacidad de agua, lo cual forma la cámara de agua.

Según la razón que existe entre la capacidad de la cámara de agua y la superficie de calefacción, se distinguen calderas de gran volumen, mediano y pequeño volumen de agua.

Las calderas de gran volumen de agua son las más sencillas y de construcción antigua. Se componen de uno a dos cilindros unidos entre sí y tienen una capacidad superior a 150 Gal. de agua por cada m² de superficie de calefacción.

Las calderas de mediano volumen de agua están provistas de varios tubos de humo y también de algunos tubos de agua, con lo cual aumenta la superficie de calefacción, sin aumentar el volumen total del agua.

Las calderas de pequeño volumen de agua están formadas por numerosos tubos de agua de pequeño diámetro, con los cuales se aumenta considerablemente la superficie de calefacción.

Como características importantes, se pueden considerar que las calderas de gran volumen de agua tienen la cualidad de mantener más o menos estable la presión del vapor y el nivel del agua, pero tienen el defecto de ser muy lentas en el encendido, y debido a su reducida superficie de calefacción, producen poco vapor. Son muy peligrosas en caso de explosión y poco económicas.

Por otro lado, la caldera de pequeño volumen de agua, por su gran superficie de calefacción, son muy rápidas en la producción de vapor, tienen muy buen rendimiento y producen grandes cantidades de vapor. Debido a esto, requieren especial cuidado en la alimentación del agua y regulación del fuego, pues de faltarles alimentación, pueden secarse y quemarse en breves minutos.

2. Cámara de vapor.

Es el espacio ocupado por el vapor en el interior de la caldera, en la cual debe separarse el vapor del agua que lleve una suspensión. Cuanto más variable sea el consumo de vapor, tanto mayor debe ser el volumen de esta cámara, de manera que aumente también la distancia entre el nivel del agua y la toma de vapor.

Ahora que ya se conocen los principales conceptos aplicables en el funcionamiento de las calderas, se explicará el funcionamiento de los principales tipos de calderas de uso industrial.

Los modelos constructivos de calderas resultan tan variados, que es imposible el intento de una clasificación sistemática de todos ellos. La clasificación general de los tipos mas usados de calderas es la siguiente:

1. Calderas sin circulación de agua (pirotubulares)
2. Calderas con circulación natural (aquatubulares)
3. Calderas con circulación controlada, forzada y especial

Solo se describirán los tipos más usados en esta clasificación.

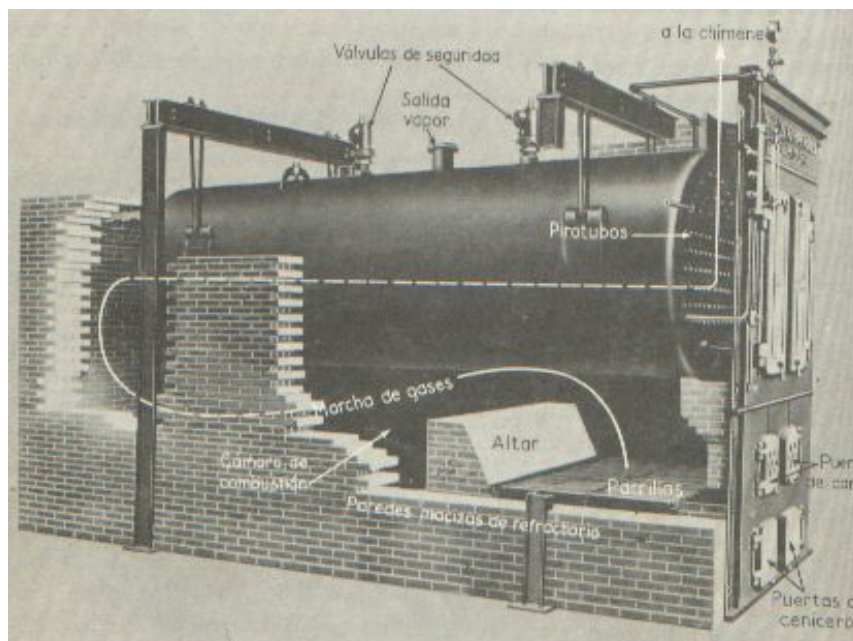
1.3.1.1 Calderas pirotubulares

Estas calderas entran en la clasificación de las calderas sin circulación de agua. En las calderas de este tipo, el agua solamente está animada con el movimiento producido por la convección natural o por el desplazamiento del vapor, producido a través de la masa del líquido.

El vapor se desprende a través del plano del agua y lleva consigo una fuerte proporción de humedad (es decir, que se trata de vapor saturado húmedo), si la superficie del plano de agua es reducida, y si la distancia vertical entre el plano de agua y la toma de vapor es pequeña.

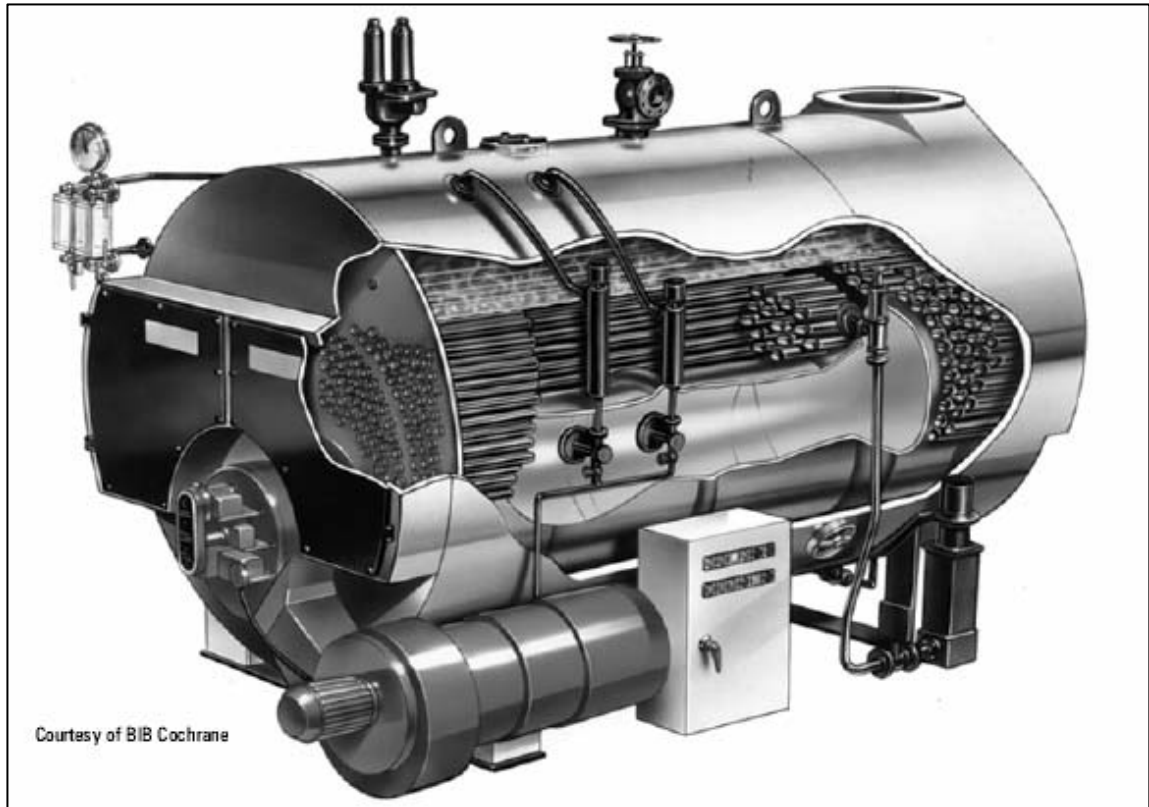
Las calderas pirotubulares están compuestas por una serie de tubos, dentro de los cuales circulan los gases calientes de la combustión; los tubos atraviesan la cámara de agua. El hogar está dispuesto en el interior del depósito de agua. El cuerpo de la caldera está formado por un cuerpo cilíndrico de disposición horizontal o vertical, e incorpora interiormente un paquete multitubular de transmisión de calor y una cámara superior de formación y acumulación de vapor. La circulación de gases se realiza desde una cámara frontal dotada de brida de adaptación, hasta la zona posterior donde termina su recorrido en otra cámara de salida de humos. A continuación, se muestra, en la figura 8, una caldera del tipo pirotubular horizontal.

Figura 8. Instalación de una caldera pirotubular horizontal.



Fuente: Severns, William H. **La producción de energía mediante el vapor de agua, aire y gases.** Pág. 129

Figura 9. Vista de una caldera pirotubular seccionada



Fuente: Spirax Sarco. **Module 3.2 sells boilers.** Pág. 6

En las figures 8 y 9, se ilustran las principales partes constructivas de las calderas pirotubulares. Las calderas pirotubulares son construidas y enviadas en un solo paquete y vienen con todos sus equipos integrados. Los principales componentes de las calderas pirotubulares son:

- a) **Cuerpo de la caldera:** está formado por un cuerpo cilíndrico, que en sus dos extremos tiene unos espejos deflectores para permitir la circulación de gases dentro de la caldera. En el cuerpo de la caldera, se encuentran las cámaras de agua y vapor y los tubos que conforman la superficie de calefacción de la caldera.

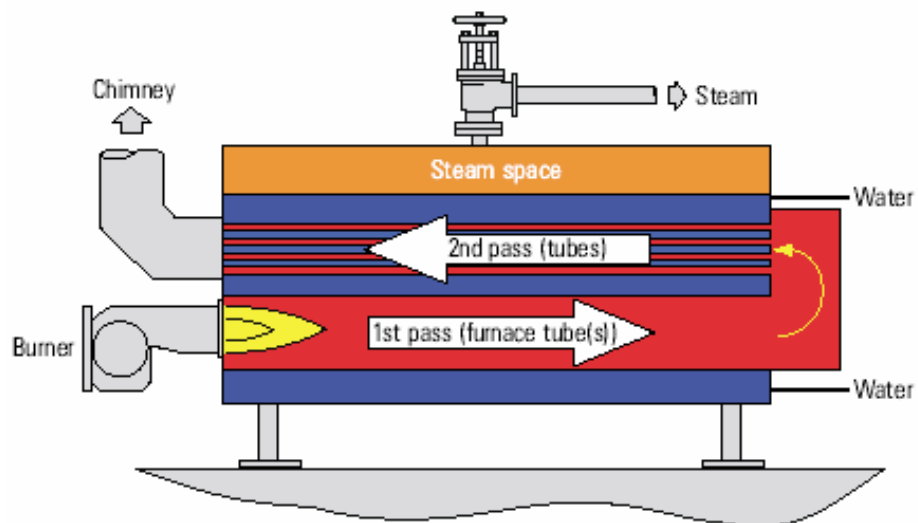
- b) Quemador de la caldera: el quemador es el encargado de de realizar la mezcla de aire y combustible, para atomizarlo e introducirlo al hogar de la caldera para su quemado. El aire para la mezcla es suministrado por un tiro forzado, que además crea la circulación de gases a través de la caldera, hasta la chimenea.
- c) Bombas de agua: estas bombas vienen instaladas en la parte inferior de la caldera y se tiene una en *standby* y otra en servicio; éstas son bombas centrifugas de uno o dos impeller y suministran agua de reposición para las calderas a la presión de trabajo.
- d) Bombas de combustible: son bombas que vienen instaladas en la parte inferior de la caldera, las cuales son del tipo de engranajes de desplazamiento positivo y suministran el combustible en las cantidades requeridas por el quemador.
- e) Equipos de medición: los instrumentos de medición sirven para monitorear el estado de funcionamiento de la caldera; los principales instrumentos son: manómetro de presión de vapor, el cual sirve para monitorear que se cumpla la presión de trabajo de la caldera; el termómetro de gases de escape, para monitorear la temperatura de los gases de chimenea, ya que los incrementos en la temperatura de los mismos suelen indicar mala transferencia de calor, debido principalmente a incrustaciones en el exterior de las tuberías del lado de agua o puede deberse también a hollín en el interior de los tubos por una mala combustión.

- f) Equipos de control: en la caldera se tienen presostatos de arranque y paro por mínima y máxima presión dentro del rango de presión de operación de la caldera respectivamente. Además se tienen el control de nivel de agua, el cual es el encargado de parar la caldera cuando la caldera llega al nivel crítico, así como arrancar y parar las bombas de agua, para mantener el nivel de la caldera dentro del rango permitido.

Las calderas pirotubulares se construyen en la actualidad en capacidades de hasta 1000 HP, 50000 lb/hr y 250 PSI de presión máxima de operación.

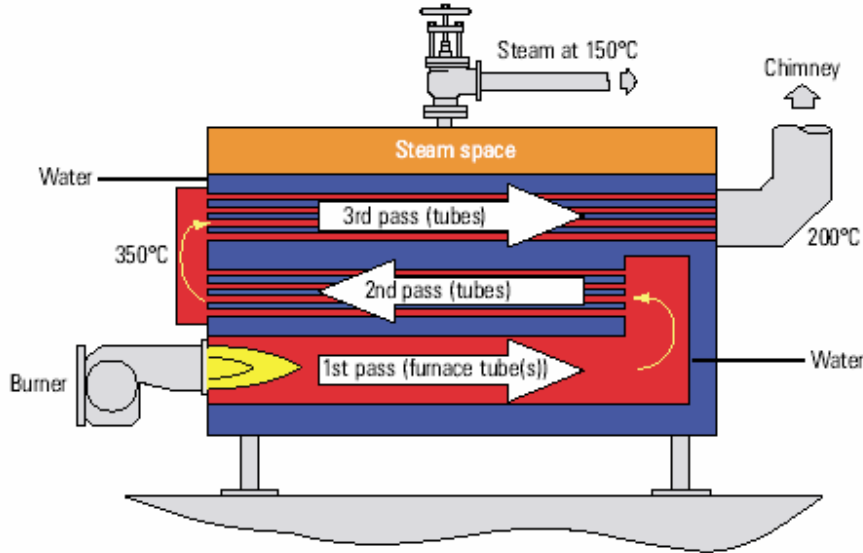
Las calderas pirotubulares se clasifican de acuerdo con el número de pasos de los gases de combustión. Un paso se define como la circulación de un extremo al otro del cuerpo de la caldera, que puede ser de 2, 3 ó 4 pasos. A continuación, se muestran las figuras 10 y 11, que es diferencia entre una caldera de 2

Figura 10. Caldera Pirotubular de 2 pasos



Fuente: Spirax Sarco. **Module 3.2 sells boilers.** Pág. 4

Figura 11. Caldera pirotubular de 3 pasos

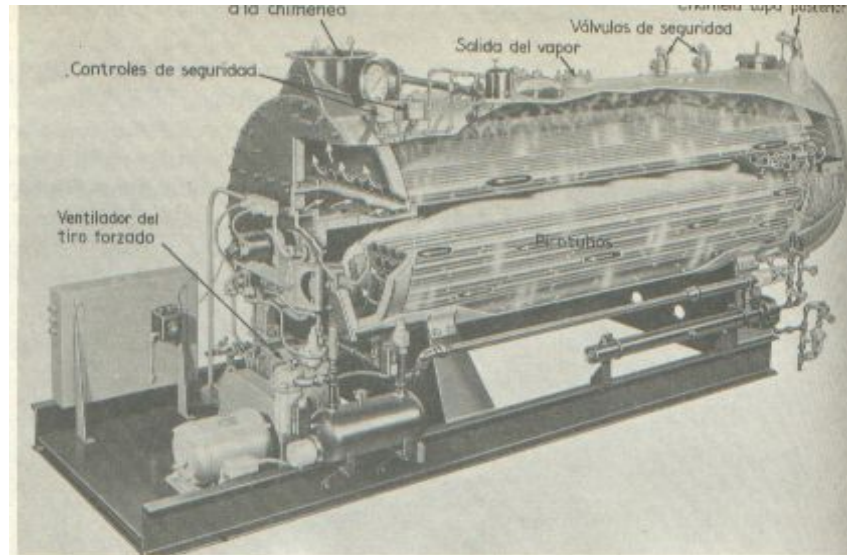


Fuente: Spirax Sarco. **Module 3.2 sells boilers.** Pág. 5

En la figura 10, se muestra una caldera pirotubular de 2 pasos y las partes principales de la caldera que son: quemador (*burner*), cámara de agua (*water*), cámara de vapor (*steam space*), y los pasos de la caldera hacia la chimenea (*chimney*). A medida que aumentamos los pasos de la caldera, ésta se vuelve más eficiente, ya que hay mayor trayecto para que los gases calientes puedan transferir su calor al agua y, por lo tanto, hay un mayor aprovechamiento de los gases de combustión. Como se ve en la figura 11, la caldera con tres pasos tienen un mayor trayecto de transferencia de calor; a medida que nos acercamos a la superficie del agua, los gases tienen menor temperatura ya que en este punto el agua, que es más caliente debido a su menor densidad, se encuentra en la superficie y necesita menos transferencia de calor.

Otro punto que es importante mencionar que la diferencia de temperatura entre el vapor y los gases de chimenea de las calderas pirotubulares, que es de aproximadamente 50 °C, tal como se observa en la figura 11. Por último, se ve en la figura 12 una caldera de 4 pasos.

Figura 12. Caldera pirotubular de 4 pasos



Fuente: Severns, William H. **La producción de energía mediante el vapor de agua, aire y gases.** Pág. 126

1.3.1.2 Calderas acuatubulares

Las calderas acuatubulares son clasificadas como calderas de circulación natural, y primero se explicará cómo funcionan. En un sistema calentado, la circulación natural se debe a una diferencia de pesos entre dos columnas de líquido de las que una, más ligera, tiende a elevarse, mientras que la más pesada tiende a descender. Esta diferencia de peso puede resultar de una diferencia de temperaturas; la más caliente es la más ligera. Pero, en este caso, la velocidad de circulación es pequeña, porque la diferencia de densidad de ambas columnas permanece moderada.

En las calderas, las columnas ascendiente y descendiente están a la misma temperatura, y su diferencia de peso se debe a la presencia, en una de estas columnas, del vapor producido por el calentamiento. La intensidad de la circulación será tanto más elevada, cuanto mayor sea el volumen ocupado por el vapor en la columna ascendente.

Por lo tanto, para tener una circulación activa interesará producir la vaporización en la parte más baja de la caldera. A medida que se eleva la presión, disminuye el volumen específico del vapor, mientras que aumenta el volumen específico del agua. De lo que puede deducirse, que cuanto mayor sea la presión de servicio, más disminuye la diferencia de peso de las columnas y, por lo tanto, menos activa es la circulación. En las proximidades de la llamada *presión crítica* (alrededor de los 230 kg/cm²), la circulación natural no es posible, ya que para este valor de la presión, el agua y el vapor tienen el mismo volumen específico.

Las calderas de circulación natural son las más extendidas. Existen numerosos modelos, cuya disposición de tubos comprende desde los moderadamente inclinados sobre la horizontabilidad, hasta los tubos completamente verticales. Todas ellas son *acuatubulares*, es decir, constituidas esencialmente por tubos, en cuyo interior pasa el agua mezclada con el vapor.

Las presiones de servicio alcanzan hasta los 180 kg/cm²; este valor constituye un límite práctico a la circulación natural. En algunos tipos, existen importantes haces tubulares que trabajan, sobre todo, por convección, mientras que otros tipos, principalmente para altas presiones, están prácticamente limitados a las pantallas de tubos de agua, que constituyen las paredes de la cámara de combustión.

Al principio, se utilizaban *calderas con cámaras de agua*, que están constituidas estas cámaras por cajas rectangulares, cuyas paredes planas están enlazadas al cuerpo de la caldera por medio de tubos. Estas calderas ya no se construyen debido a que se producían fugas y roturas, por lo que no se insistirá más en esta cuestión.

Posteriormente, se construyeron *calderas seccionales*, en las que la cámara de agua se sustituye por cámaras parciales o *secciones*; de esta forma, se puede variar el número de secciones idénticas, para constituir calderas de diversas anchuras, superficies y potencias vaporizadoras. Esta forma de construcción se utiliza actualmente hasta en potencias medias.

La caldera va montada, independientemente de la mampostería, sobre un bastidor de hierro forjado, lo cual permite las dilataciones sin perjuicio de la obra de fábrica. No es posible estudiar todos los tipos de calderas con circulación natural que existen actualmente; por esta razón, se ha dicho que son:

- a) Calderas con tubos poco inclinados
- b) Calderas con tubos muy inclinados o verticales
- c) Calderas de radiación.

Los tipos anteriores corresponden a las variantes que se pueden tener en los diseños de las calderas acuatubulares.

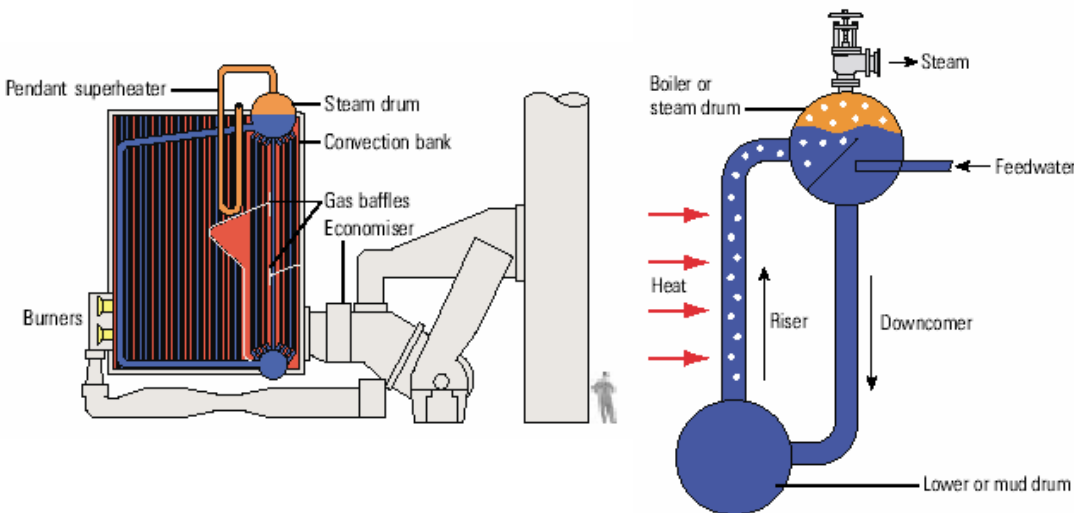
Las calderas acuatubulares (el agua está dentro de los tubos) eran usadas en centrales eléctricas y otras instalaciones industriales, para lograr con un menor diámetro y dimensiones totales una presión de trabajo mayor, para accionar las máquinas a vapor de principios de siglo.

En estas calderas, los tubos longitudinales interiores se emplean para aumentar la superficie de calefacción, y están inclinados para que el vapor a mayor temperatura al salir por la parte más alta, provoque un ingreso natural del agua más fría por la parte más baja. Originalmente estaban diseñadas para quemar combustible sólido.

La producción del vapor de agua depende de la correspondencia que exista entre dos de las características fundamentales del estado gaseoso, que son la presión y la temperatura. A cualquier temperatura, por baja que está sea, se puede vaporizar agua, con tal de que se disminuya convenientemente la presión a que se encuentre sometido dicho líquido, y también a cualquier presión puede ser vaporizada el agua, con tal de que se aumente convenientemente su temperatura.

A continuación en la figura 13, se muestra el esquema de funcionamiento de una caldera acuotubular, ya que se han explicado todos los principios de funcionamiento de las calderas acuotubulares.

Figura 13. Caldera acuotubular



Fuente: Spirax Sarco. **Module 3.3 water-tube boilers.** Pág. 2

Como se ve en la figura 13, del lado izquierdo se muestra la instalación de una caldera acuotubular, con todos los tubos rodeados por los gases calientes, introducidos por el quemador de la caldera, los cuales, mediante deflectores, son obligados a circular por el exterior de los tubos y transfieren el calor al agua que se encuentra dentro de los tubos.

Del lado derecho de la figura 13, se ve un acercamiento de los domos de las calderas y el superior, en el cual se forma la cámara de vapor y además se ilustran las columnas ascendentes y descendentes, las que se mencionaron al inicio. La columna ascendente se hace mas liviana, como se observa, porque en ésta se encuentra el vapor que se está formando.

1.3.1.3 Calderas de circulación controlada y forzada

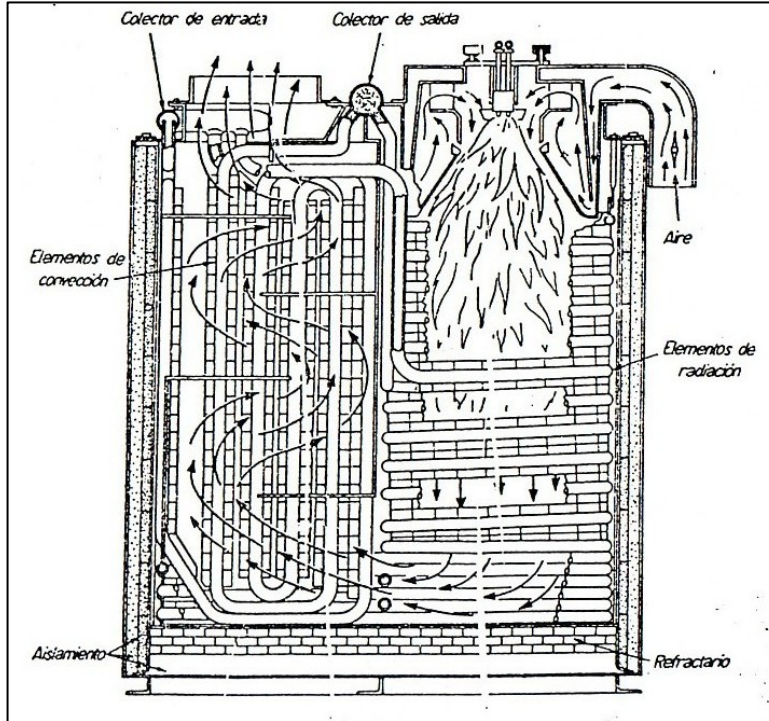
La característica más interesante de estas calderas es que utilizan una bomba para incrementar la circulación de agua o de vapor. Por eso son llamadas de circulación controlada y forzada. A estas calderas se les suele llamar también *calderas supercríticas*.

Cuando en una caldera se reemplaza la circulación por gravedad por **circulación forzada**, el diámetro de los tubos puede reducirse; el circuito de los tubos, alargarse y disminuirse el espesor de sus paredes, para una presión dada. Los tubos pueden disponerse como un serpentín continuo, formando el revestimiento de hogar. De esta manera, se mejora la transmisión de calor; el espacio requerido se reduce al mínimo y los colectores, y los cuerpos cilíndricos quedan suprimidos.

En las calderas Benson y Sulzer, las cuales emplean la circulación forzada, el agua entra por un extremo y sale en forma de vapor por el otro. Normalmente trabajan a una presión relativa próxima a 140 kg/cm^2 y requieren aparatos de control, sensibles y exactos, para regular la marcha de la combustión y la de la circulación del agua, con el fin de obtener vapor del grado de recalentamiento deseado.

A continuación, se presenta en la figura 14 una caldera supercrítica.

Figura 14. Caldera de circulación forzada (supercrítica).



Fuente: Severns, William H. **La producción de energía mediante el vapor de agua, aire y gases.** Pág. 139

Las calderas de *circulación favorecida o controlada* emplean una bomba para favorecer la circulación del agua o vapor. Las calderas La Mont y Velox son de este tipo. En la caldera Velox, los gases de la cámara de combustión son comprimidos a unos 2 kg/cm^2 , por medio de un ventilador accionado por una turbina de gas que trabaja con los gases de escape de la caldera.

Debido al aumento de densidad de los gases, que resulta de haberlos comprimido, se mejora la transmisión de calor, llegando a ser diez veces más grande que en el caso de hogares corrientes; por esta razón, la caldera requiere solamente casi una cuarta parte del espacio y pesa un séptimo del valor correspondiente a generadores de tipo convencional de la misma capacidad de producción de vapor.

Otras ventajas atribuidas a esta clase de calderas son una respuesta rápida a los controles y una puesta en marcha rápida. El vapor producido y el agua sin vaporizar entran en un cilindro vertical, en el cual los canales centrífugos dirigen el agua hacia el fondo del mismo y el vapor saturado sube por el centro. El agua vuelve a entrar en la bomba de circulación, que la inyecta de nuevo al generador

1.3.2 Tuberías y su dimensionamiento

Las tuberías de acero se agrupan en corrientes y especiales. Las tuberías corrientes, son empleadas en la conducción de fluidos, y las tuberías especiales son las utilizadas en intercambiadores de calor, calderas, maquinaria industrial y aviación.

Las tuberías comúnmente empleadas son las siguientes:

- a) Tubos de acero al carbono: son las más frecuentemente empleadas en la distribución de vapor en la mayoría de aplicaciones industriales.
- b) Tubos de acero al carbono-molibdeno: esta tubería surgió debido a que las temperaturas del vapor de agua se aproximaban a los 540 °C, donde las tuberías de acero al carbono resultan antieconómicas.
- c) Tubos de acero al cromo-molibdeno: esta tubería se utiliza cuando se necesita transportar vapor sobrecalentado a temperaturas del orden de los 590 °C.

- d) Tubos de acero inoxidable: se utilizan para temperaturas hasta 650 °C, y sus uniones son soldables. Además se utilizan para equipos de calentamiento de vapor, en donde se utilizan materiales corrosivos.

Tabla III. Espesores y peso por pie de las tuberías de acero al carbono comerciales

TUBO DE ACERO (Grosor de Pared - Pulgadas)														
DIAM. NOM.	DIAM. EXT	SCH. 10	SCH. 20	SCH. 30	STD.	SCH. 40	SCH. 60	X STRONG	SCH. 80	SCH. 100	SCH. 120	SCH. 140	SCH. 160	XX STRONG
1/8	.405	—	—	—	.068	.068	—	.095	.095	—	—	—	—	—
1/4	.540	—	—	—	.088	.088	—	.119	.119	—	—	—	—	—
3/8	.675	—	—	—	.091	.091	—	.126	.126	—	—	—	—	—
1/2	.840	—	—	—	.109	.109	—	.147	.147	—	—	—	.187	.294
3/4	1.050	—	—	—	.113	.113	—	.154	.154	—	—	—	.218	.308
1	1.315	—	—	—	.133	.133	—	.179	.179	—	—	—	.250	.358
1 1/4	1.660	—	—	—	.140	.140	—	.191	.191	—	—	—	.250	.382
1 1/2	1.900	—	—	—	.145	.145	—	.200	.200	—	—	—	.281	.400
2	2.375	—	—	—	.154	.154	—	.218	.218	—	—	—	.343	.436
2 1/2	2.875	—	—	—	.203	.203	—	.276	.276	—	—	—	.375	.552
3	3.500	—	—	—	.216	.216	—	.300	.300	—	—	—	.438	.600
3 1/2	4.000	—	—	—	.226	.226	—	.318	.318	—	—	—	—	.636
4	4.500	—	—	—	.237	.237	—	.337	.337	—	.438	—	.531	.674
5	5.563	—	—	—	.258	.258	—	.375	.375	—	.500	—	.625	.750
6	6.625	—	—	—	.280	.280	—	.432	.432	—	.562	—	.718	.864
8	8.625	—	.250	.277	.322	.322	.406	.500	.500	.593	.718	.812	.906	.875
10	10.750	—	.250	.307	.365	.365	.500	.500	.593	.718	.843	1.000	1.125	—
12	12.750	—	.250	.330	.375	.406	.562	.500	.687	.843	1.000	1.125	1.312	—
14 OD	14.00	.250	.312	.375	.375	.438	.593	.500	.750	.937	1.093	1.250	1.406	—
16 OD	16.00	.250	.312	.375	.375	.500	.656	.500	.843	1.031	1.218	1.438	1.593	—
18 OD	18.00	.250	.375	.438	.375	.562	.750	.500	.937	1.156	1.375	1.562	1.781	—
20 OD	20.00	.250	.375	.500	.375	.593	.812	.500	1.031	1.281	1.500	1.750	1.968	—
24 OD	24.00	.250	.375	.562	.375	.687	.968	.500	1.218	1.531	1.812	2.062	2.343	—
30 OD	30.00	.316	.500	.625	.375	—	—	.500	—	—	—	—	—	—

Peso del Tubo en Lbs./Pie (Extremos Lisos)														
1/8	.405	—	—	—	.240	.240	—	.310	.310	—	—	—	—	—
1/4	.540	—	—	—	.420	.420	—	.540	.540	—	—	—	—	—
3/8	.675	—	—	—	.570	.570	—	.740	.740	—	—	—	—	—
1/2	.840	—	—	—	.850	.850	—	1.09	1.09	—	—	—	1.30	1.71
3/4	1.050	—	—	—	1.13	1.13	—	1.47	1.47	—	—	—	1.94	2.44
1	1.315	—	—	—	1.68	1.68	—	2.17	2.17	—	—	—	2.84	3.66
1 1/4	1.660	—	—	—	2.27	2.27	—	3.00	3.00	—	—	—	3.77	5.21
1 1/2	1.900	—	—	—	2.72	2.72	—	3.63	3.63	—	—	—	4.86	6.41
2	2.375	—	—	—	3.65	3.65	—	5.02	5.02	—	—	—	7.44	9.03
2 1/2	2.875	—	—	—	5.79	5.79	—	7.66	7.66	—	—	—	10.01	13.70
3	3.500	—	—	—	7.58	7.58	—	10.25	10.25	—	—	—	14.32	18.56
3 1/2	4.000	—	—	—	9.11	9.11	—	12.51	12.51	—	—	—	—	22.85
4	4.500	—	—	—	10.79	10.79	—	14.98	14.98	—	19.01	—	22.51	27.54
5	5.563	—	—	—	14.62	14.62	—	20.78	20.78	—	27.04	—	32.96	38.55
6	6.625	—	—	—	18.97	18.97	—	28.57	28.57	50.87	36.39	—	45.30	53.16
8	8.625	—	22.36	24.70	28.55	28.55	35.64	43.39	43.39	76.93	60.63	67.76	74.69	72.42
10	10.750	—	28.04	34.24	40.48	40.48	54.74	64.33	64.33	107.20	89.20	104.13	115.65	—
12	12.750	—	33.38	43.77	49.56	53.56	73.16	88.51	130.73	125.49	139.68	160.27	—	—
14 OD	14.00	36.71	45.68	54.57	54.57	63.37	84.91	72.09	106.13	164.83	150.67	170.22	189.12	—
16 OD	16.00	42.05	52.36	62.58	62.58	82.77	107.50	82.77	136.46	207.96	192.29	223.50	245.11	—
18 OD	18.00	47.39	59.03	82.06	70.59	104.75	138.17	93.45	170.75	256.10	244.14	274.23	308.51	—
20 OD	20.00	52.73	78.60	104.13	78.60	122.91	166.40	104.13	208.87	367.40	296.37	341.10	379.01	—
24 OD	24.00	63.41	94.62	140.80	94.62	171.17	230.91	125.49	296.36	—	429.39	483.13	541.94	—
30 OD	30.00	79.43	157.53	196.08	118.65	—	—	157.53	—	—	—	—	—	—

© 1987 - DISEÑO PARA ESTUDIO DE DISEÑO - IMPRESIÓN GRUPO GRAFICO S.A. - GUATEMALA, C.A.

Fuente: ALINSA. **Catálogo de productos.** Pág. 2

Las tuberías empleadas en sistemas de distribución de vapor deben ser comúnmente de acero al carbono y sin costura, debido a las condiciones extremas de presión y temperatura a que son sometidas. El sistema de distribución de vapor debe estar diseñado y dimensionado para transportar determinada cantidad de libras de vapor por hora, para evitar la excesiva pérdida de presión en el sistema de tuberías.

Para el cálculo de tuberías, es necesario conocer los siguientes datos: el consumo de vapor o flujo de vapor en lb/hr que se espera transportar, así como la temperatura de operación, que se obtiene de tablas de vapor para la presión máxima que se desea manejar.

El flujo máximo que se va a transportar se obtiene de las placas de los equipos consumidores de vapor y se debe emplear siempre un factor de seguridad del 20 al 30%, por posibles fugas en el sistema y para considerar ampliaciones futuras. El flujo máximo por transportar en una tubería y el diámetro que se va a utilizar se calcula mediante el uso de ecuación de Babcock, que se presenta a continuación:

$$w = 87 \sqrt{\frac{p \cdot d \cdot D^5}{(1 + 3.6/p) - L}}$$

Donde:

- W = lb/min de vapor
- P= Pérdida de presión en PSI (0.5 PSI por cada 100 pies para presiones menores de 150 PSI y de 1 PSI por cada 100 pies para presiones mayores de 150 PSI)
- d = peso de 1 pie cúbico de vapor
- D = diámetro interior de tubo en pulgadas
- L = Longitud equivalente del tubo (pies)

Ciertamente la fórmula de Babcock es bastante compleja, pero para su simplificación se emplea comúnmente la tabla IV, que se presenta continuación:

Tabla IV. Tabla para dimensionar tubería basada en la fórmula de Babcock

PERDIDAS DE PRESION. (onzas / plg ²)	Col. 1 $87 \sqrt{\frac{P}{100}}$	TAMAÑO NOMINAL DEL TUBO (plg)	Col. 2 $\sqrt{\frac{D^5}{1 + \frac{3.6}{D}}}$	PRESION MANOMETRICA DEL VAPOR (lbs / plg ²)	Col. 3 \sqrt{d}	LONGITUD DEL TUBO (Pies)	Col. 4 $\sqrt{\frac{100}{L}}$
0.25	1.088	1	0.536	-1	0.187	20	2.240
0.50	1.538	1 1/4	1.178	-0.5	0.190	40	1.580
1.00	2.175	1 1/2	1.828	0.0	0.193	60	1.290
2.00	3.076	2	3.710	1	0.200	80	1.120
3.00	3.767	2 1/2	6.109	2	0.205	100	1.000
4.00	4.350	3	11.183	3	0.210	120	0.912
5.00	4.863	3 1/2	16.705	5	0.221	140	0.841
6.00	5.328	4	23.631	10	0.246	160	0.793
7.00	5.755	4 1/2	32.134	15	0.269	180	0.741
8.00	6.152	5	43.719	20	0.289	200	0.710
10.00	6.878	6	71.762	30	0.325	250	0.632
12.00	7.534	7	106.278	40	0.357	300	0.578
14.00	8.138	8	149.382	50	0.387	350	0.538
16.00	8.700	9	201.833	60	0.414	400	0.500
20.00	9.727	10	272.592	75	0.451	450	0.477
24.00	10.655	12	437.503	100	0.506	500	0.447
28.00	11.509	14	566.693	125	0.556	600	0.407
32.00	12.304	16	816.872	150	0.602	700	0.378
40.00	13.756			175	0.644	800	0.354
48.00	15.069			200	0.685	900	0.333
80.00	19.454					1000	0.316
160.00	27.512					1200	0.289
320.00	38.908					1500	0.258
480.00	47.652					2000	0.224

Fuente: Johnson & Johnson. **Sistemas de distribución de vapor.** Pág. 41

La fórmula de Babcock se simplifica de acuerdo con la siguiente fórmula, con base en la tabla IV, de la siguiente manera: $W = (\text{col.1}) * (\text{col.2}) * (\text{col.3}) * (\text{col.4})$

Donde: Col.1 = Pérdidas y tabula resultados de $87 \sqrt{p/100}$

Col.2 = Tamaño nominal de tubo (plg) y resulta de $\sqrt{D^5 / (1 + 3.6 / D)}$

Col.3 = Se refiere a la presión manométrica del vapor y proviene de \sqrt{d}

Col.4 = Se refiere a la longitud del tubo (pies) y resulta de $\sqrt{100 / L}$

1.3.3 Válvulas

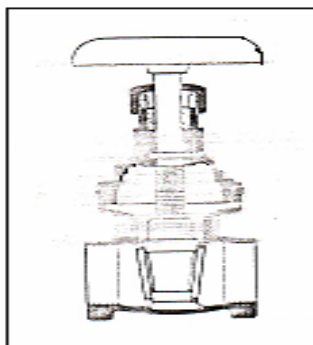
Las válvulas son aparatos mecánicos, mediante los cuales se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases, por una pieza movable que abre o cierra en forma parcial o total uno o más orificios o conductos.

Debido a su diseño, las válvulas pueden abrir y cerrar el paso de un fluido y, debido a que no hay una válvula universal que sirva para satisfacer los requisitos tan variables de las aplicaciones en la industria, se distinguen varios tipos de válvulas, de los cuales se mencionan los tipos más comunes, en las aplicaciones de distribución de vapor a continuación.

1.3.3.1 Válvulas de compuerta

Estas son válvulas de vueltas múltiples, en la cual un disco vertical cierra el orificio con un disco vertical de cara, plana que se desliza en ángulos rectos sobre el asiento. Estas válvulas son utilizadas para servicio general, aceites y petróleo, líquidos espesos, vapor, gases y líquidos no condensables. En la figura 15, que se muestra a continuación, se presenta una válvula de este tipo.

Figura 15. Válvula de compuerta



Fuente: Robert Rosaler. **Manual de mantenimiento industrial**. Pág. 10-110

Además, las válvulas de compuerta son recomendadas para apertura total o cierre total sin estrangulación del flujo, para uso poco frecuente, que permite ofrecer resistencia mínima a la circulación y para mínimas cantidades de fluido o líquido atrapado en la tubería.

Las variaciones de esta válvula son de cuña maciza, cuña dividida y disco doble. Son fabricadas de bronce, hierro fundido, hierro, acero forjado, monel, acero fundido, acero inoxidable y plástico de PVC.

Tiene las ventajas de alta capacidad, cierre hermético y bajo costo, aunque presenta las desventajas de control deficiente de la circulación; requiere mucha fuerza para su accionamiento, produce cavitación con baja caída de presión y debe estar abierta o cerrada por completo, ya que las aperturas parciales de estrangulación producen erosión del disco y del asiento.

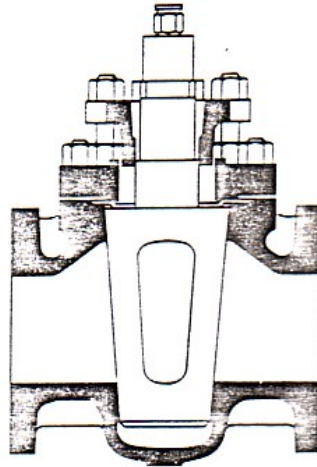
1.3.3.2 Válvulas de macho

Estas válvulas son de $\frac{1}{4}$ de vuelta, y controla la circulación por medio de un macho cilíndrico o cónico, que tiene un agujero en el centro, que se puede mover de la posición abierta a la cerrada, por un giro de 90°. Son recomendadas para servicio de apertura o cierre total y accionamiento frecuente, y baja caída de presión a través de la válvula.

Las aplicaciones de estas válvulas son para servicio general, para pastas semilíquidas, líquidas, vapores, gases y corrosivos. Las ventajas de esta válvula son de alta capacidad, bajo costo, cierre hermético y funcionamiento rápido. Sin embargo, tiene las siguientes desventajas: requiere alta par de accionamiento, desgaste del asiento y cavitación con baja caída de presión. Las variaciones son lubricada, sin lubricar y de orificios múltiples.

En la figura 16, se muestra una válvula del tipo de macho, las cuales son fabricadas de hierro, hierro dúctil, acero al carbono, acero inoxidable, Hastelloy y camisa de plástico.

Figura 16. Válvula de macho

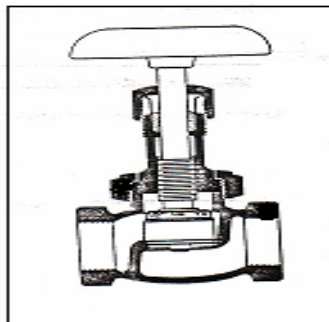


Fuente: Robert Rosaler. **Manual de mantenimiento Industrial.** Pág. 10-115

1.3.3.3 Válvulas de globo

Las válvulas de globo son de vueltas múltiples, en las que el cierre se logra por medio de un disco o tapón, que cierra o corta el paso del fluido en un asiento, que suele estar paralelo con la circulación del flujo en la tubería.

Figura 17. Válvula de globo



Fuente: Robert Rosaler. **Manual de mantenimiento Industrial.** Pág. 10-116

En la figura 17, se muestra el esquema de una válvula de globo. Estas válvulas se recomiendan para estrangulación o circulación del flujo, para accionamiento frecuente, para corte positivo de gases o aire, y cuando es aceptable cierta resistencia de circulación. Sus usos más comunes son para servicio general, líquidos, vapores, gases, corrosivos.

Las ventajas principales son que tienen eficiente estrangulación con estiramiento o erosión mínimos del disco o asiento; son de carrera corta del disco y pocas vueltas para accionarla, lo cual reduce el tiempo y desgaste en el vástago y el bonete, y son de control preciso de la circulación.

Las principales desventajas de una válvula de globo es que tienen gran caída de presión y costo relativamente elevado. Las principales variaciones de esta válvula son la normal o estándar, la en "Y", en ángulo y de tres vías. Los materiales principales del cuerpo son de bronce, hierro fundido, acero forjado, acero inoxidable y plásticos.

En la instalación de estas válvulas, se debe tener en cuenta que la presión esté debajo del disco, excepto en servicio de vapor a alta temperatura; entonces hay que abrir ligeramente la válvula para expulsar los cuerpos extraños del asiento y apretar la tuerca de la empaquetadura, para corregir de inmediato las fugas en la empaquetadura.

Para la adquisición de estas válvulas, se debe especificar en el pedido el tipo de conexiones de extremo, tipo de disco, tipo de asiento, tipo de vástago, tipo de empaquetadura o sello del vástago, tipo de bonete, capacidad nominal para presión y capacidad nominal para la temperatura de operación.

En la figura 18, que se muestra a continuación, se presenta una válvula de pistón marca Klinger, la cual es una variante de las de globo y tiene las mismas aplicaciones.

Figura 18. Válvula de pistón marca Klinger



Fuente: Válvulas Klinger. **Catálogo de productos.** Pág. 15

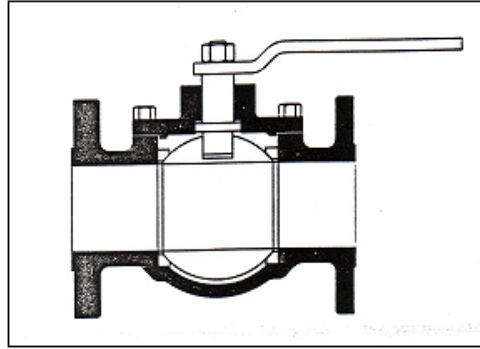
1.3.3.4 Válvulas de bola

Estas válvulas son de $\frac{1}{4}$ de vuelta, en las cuales una bola taladrada gira entre asientos elásticos, lo cual permite una circulación directa en la posición abierta, corta el paso cuando se gira la bola 90° , y cierra el conducto.

Estas válvulas son recomendadas para servicios de conducción y corte, sin estrangulación; además cuando se requiere una apertura rápida, esta válvula se emplea para temperaturas moderadas y cuando se necesita una resistencia mínima a la circulación. Sus principales aplicaciones son para servicio general, altas temperaturas y pastas semilíquidas.

En la figura 19, se muestra una válvula la construcción de una válvula del tipo de bola.

Figura 19. Válvula de bola



Fuente: Robert Rosaler. **Manual de mantenimiento Industrial**. Pág. 10-116

1.3.3.5 Válvulas de mariposa

La válvula de mariposa es de $\frac{1}{4}$ de vuelta y controla la circulación por medio de un disco circular con el eje de su orificio en ángulos rectos con el sentido de la circulación. A continuación, se presenta la figura 20, en donde se ilustra este tipo de válvula.

Figura 20. Válvula de mariposa.



Fuente: Catalogo de válvulas Bray. **Válvulas/actuadores**. Pág. 2

En la figura 20, se presenta una válvula de mariposa, la cual es recomendada para servicios con apertura total o cierre total, servicio con estrangulación; para accionamiento frecuente, cuando se requiere corte positivo para gases o líquidos, y para baja caída de presión a través de la válvula.

Estas válvulas son utilizadas para servicios generales, para líquidos, gases, pastas semilíquidas y líquidos con sólidos en suspensión. Tienen la ventaja de ser ligeras, compactas y de bajo costo; además requieren poco mantenimiento, son de alta capacidad, se limpian por sí solas y tienen un número mínimo de piezas móviles. Aunque tienen la desventaja de tener alto par para accionarla, tienen capacidad limitada para caída de presión y son propensas a la cavitación.

1.3.4 Accesorios para el acondicionamiento de vapor

Ahora nos centraremos en el estudio de los accesorios para las tuberías de distribución de vapor y tienen por objeto mejorar la calidad del vapor. Se había mencionado anteriormente que el vapor suele arrastrar consigo pequeñas gotas de líquido, por lo que nunca es 100% seco. Esta humedad suele incrementarse por el paso del flujo de vapor en las tuberías que se encuentran a menor temperatura, por lo que se necesita accesorios especiales para sacar esta humedad del sistema, la cual se convierte en una barrera para la transferencia de calor.

Por lo tanto, eliminar la humedad presente en el vapor es uno de los principales objetivos, para lo cual se cuenta con los siguientes accesorios: separadores de humedad, filtros, trampas de vapor (se explicaran en el siguiente capítulo), venteadores de aire y gases condensables.

Y por último, se encuentran las reguladoras de presión. El vapor en las calderas se genera, por lo regular, a 100 y 200 PSI, por lo que una parte del acondicionamiento del vapor consiste en regular la presión de servicio a la presión de trabajo en el punto de utilización,

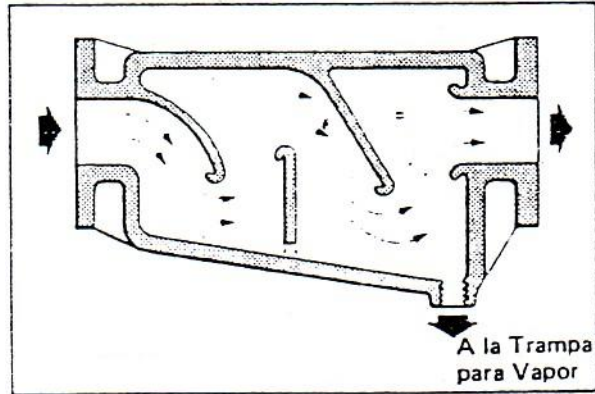
1.3.4.1 Separadores de condensado

Las calderas modernas tienen gran capacidad, en comparación con su tamaño, por lo que se debe tener cuidado de evitar sobrecargas. Esto se debe a que, en cuanto se producen picos máximos de consumo de vapor, se produce una depresión en la salida de la caldera, con lo cual el flujo de vapor arrastra agua hacia los sistemas de distribución; esto junto con la falta de un adecuado tratamiento de agua para calderas, hacen que el vapor suministrado por el sistema de generación de vapor sea un vapor húmedo y no un vapor seco, el cual tiene un calor latente mayor que el vapor húmedo y, por lo tanto, sirva mejor a los propósitos de calefacción, ya que el vapor seco transporta mayor energía que el vapor húmedo. El vapor húmedo reduce, por tanto, la eficiencia de los procesos o equipos de calefacción.

Por esta razón, se deben utilizar accesorios que eliminen el exceso de humedad del vapor y garantizan el suministro de vapor seco a los equipos. Si bien el drenado mediante una trampa de vapor, en puntos intermedios de la tubería de distribución de vapor, puede eliminar el condensado, que viaja en la parte inferior de las tuberías; no se podrán eliminar las gotitas de humedad arrastradas por el propio vapor.

Es por eso que la solución más simple, para este problema, sea un separador de gotas, cuyo modelo típico se muestra en la figura 21, que se muestra a continuación.

Figura 21. Separador de condensado



Fuente: Spirax Sarco. **Curso sobre técnicas para uso eficiente del vapor.** Pág. 4

Como se observa en la figura 21, una pantalla central obliga al vapor a cambiar de dirección y a adquirir un movimiento circular. El vapor seco puede pasar sin dificultad, pero las gotas de agua, más pesadas, se recogen en el punto de drenaje inferior. Una trampa adecuada elimina el agua separada, junto con el condensado que pudiese haber en este tramo de tubería de distribución.

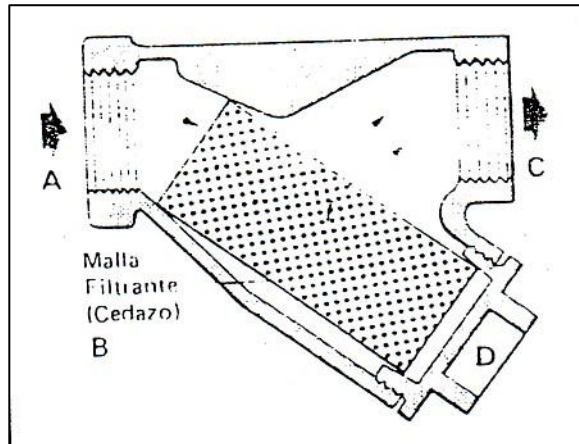
La fuente más común de vapor húmedo es el arrastre desde la caldera y, por esta razón, se debe instalar un separador inmediatamente a la salida de la misma. También es deseable instalar separadores, antes de cualquier equipo que requiera vapor seco para su funcionamiento.

1.3.4.2 Filtros

Cuando se instala una tubería nueva, habitualmente quedan en su interior trozos de soldadura, empaquetaduras, juntas e incluso tornillos y tuercas utilizadas durante el montaje. En tuberías viejas, hay depósitos de óxidos y carbonatos que se pueden desprender y circular a lo largo de la tubería del vapor. Estas partículas de suciedad pueden acumularse y ser la causa del mal funcionamiento de trampas de vapor, reguladores de presión y separadores.

Las trampas de vapor pueden averiarse por la acción constante del vapor a alta velocidad, al pasar a través de su válvula parcialmente abierta. Debido a la velocidad del vapor y del condensado que viaja dentro de las tuberías, un simple bolsillo colector no es capaz de atrapar todas las partículas de suciedad. Por eso, se hace necesario el uso de filtros antes de cualquier trampa, medidor, válvula reductora o de regulación. En la figura 22, se muestra un filtro típico de canasta en “Y”.

Figura 22. Filtro de canasta



Fuente: Spirax Sarco. **Curso sobre técnicas para uso eficiente del vapor.** Pág. 4

En el filtro mostrado en la figura anterior, el vapor fluye de la entrada “A” a la salida “C”, a través de cilindro perforado “B”. Mientras el vapor y el agua pasan sin dificultad a través del cilindro, las partículas de suciedad no pueden pasar por los orificios del mismo. La tapa “D” se puede abrir para limpiar regularmente la malla filtrante.

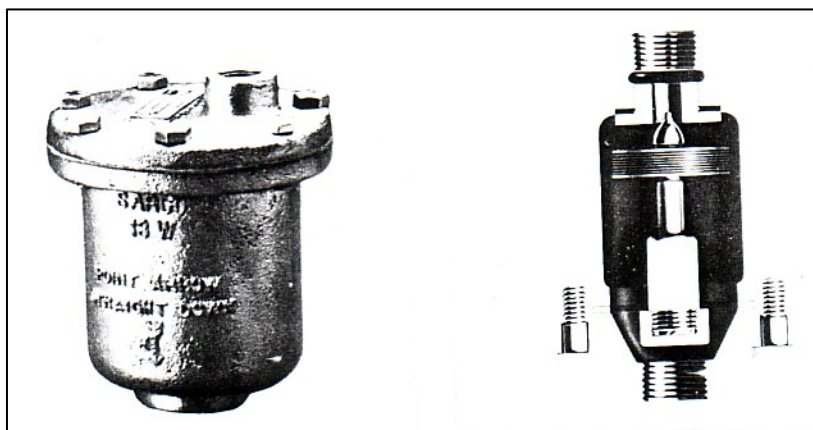
1.3.4.3 Venteadores y rompevacíos

En tuberías y equipos de procesos, es indispensable eliminar el aire e incondensables, que retardan la circulación y reducen la eficiencia de la transferencia de calor.

Para los servicios con vapor, se han diseñado venteadores termostáticos, los cuales deben ser instalados en los puntos más altos de las tuberías y equipos, donde el aire se acumula, además, en los finales de línea.

Algunos de los mayores problemas en la transferencia de calor son causados por el condensado que inunda los equipos debido al vacío; por eso, los venteadores sirven para romper el vacío formado por la condensación y permiten que el condensado drene y mejore a su vez la transferencia de calor y la vida del equipo. En la figura 23, se ilustra un venteador del tipo termostático para uso en sistemas de vapor.

Figura 23. Venteadores



Fuente: Spirax Sarco. **Catalogo de productos.** Pág. 78

En los venteadores termostáticos, los fuelles o cápsulas termostáticas de presión balanceada aseguran una capacidad de venteo para un arranque rápido de los sistemas o equipos; se ajustan automáticamente a cualquier presión de operación y se cierran para prevenir la pérdida de vapor. Incrementan la transferencia de calor en todos los equipos operados con vapor para una mayor productividad y eficiencia.

Para el funcionamiento de los venteadores, un elemento bimetálico efectúa el cierre de la válvula al ambiente por su dilatación, ante la mayor temperatura del vapor, y así evita las fugas de vapor. Cuando el aire se acumula en la parte superior, éste es debido a que tiene menor temperatura que el vapor, el cual empieza a enfriar el elemento bimetálico, haciendo que éste se contraiga y abra la válvula para que el aire escape al ambiente.

1.3.4.4 Válvulas reductoras de presión

Todos los equipos tienen especificada una presión de trabajo y si ésta es menor que la de servicio, entonces es necesario utilizar una válvula reductora de presión. Las calderas están diseñadas para producir vapor a presión alta y no es conveniente trabajar a presiones menores, por la disminución de eficiencia y por los arrastres de agua que pueden producirse. Por esta razón, es preferible generar a presión elevada e instalar válvulas reductoras o reguladoras de presión, antes de los equipos que requieren presiones más bajas.

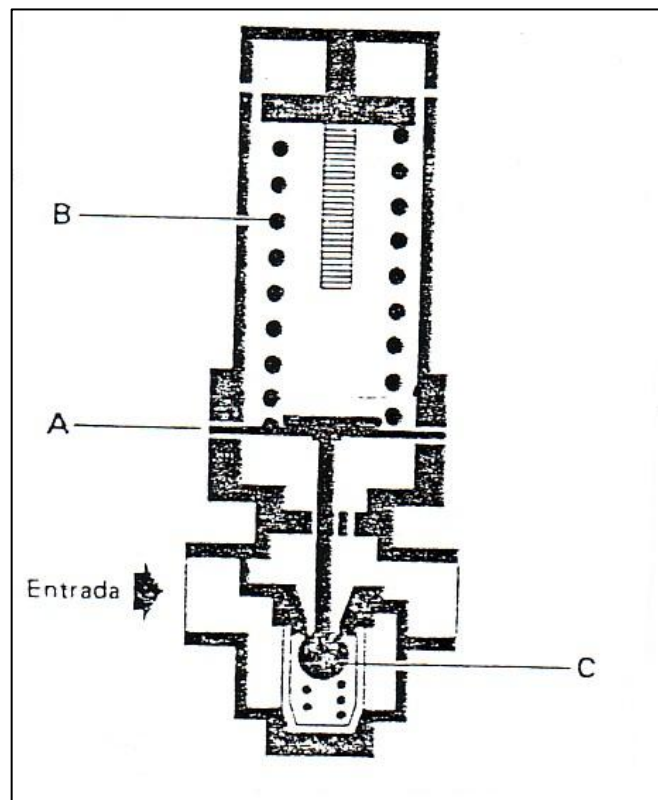
Otra ventaja de generar vapor a alta presión es que se requieren tuberías de menor diámetro, para transportar caudales mayores de vapor, debido a que tiene un volumen específico menor que a bajas presiones, lo cual constituye un ahorro significativo en la construcción de los sistemas de distribución del vapor.

Además, puesto que la temperatura del vapor saturado depende de su presión, el control de esta última magnitud es un método sencillo y eficaz de controlar aquella. El uso de presiones bajas en los equipos es conveniente, porque el calor latente, que es el que se aprovecha generalmente; es mayor cuanto menor es la presión y también porque produce menor cantidad de revalorizado, al ser menor la temperatura del condensado.

Las válvulas reductoras de presión se pueden dividir en dos grandes grupos: de acción directa y válvulas con piloto.

En la figura 24, que se muestra a continuación, se ilustra una **válvula reguladora de presión del tipo de acción directa**.

Figura 24. Válvula reductora de presión de acción directa



Fuente: Spirax Sarco. **Principios prácticos de conservación de energía.** Pág. 69

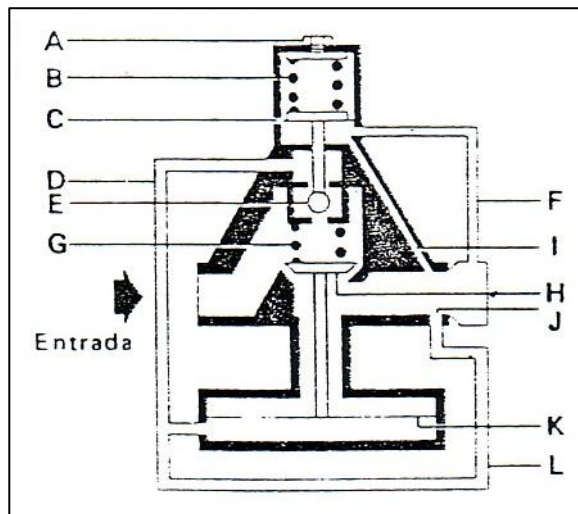
De acuerdo con la figura anterior, esta válvula es el diseño más simple. La presión reducida a la salida de la válvula actúa en la parte inferior del diafragma "A", y se opone a la presión aplicada por el resorte de control "B"; esta diferencia de presión determina la mayor o menor apertura de la válvula principal "C" y, por tanto, el flujo a través de la válvula reductora.

Para que la válvula pase de la posición abierta a la cerrada, debe haber un aumento de presión en la parte inferior del diafragma. Esto produce una variación inevitable en la presión de salida. Esta variación será mayor cuando la válvula esté cerrada o casi cerrada, y disminuirá a medida que aumente el caudal. La presión de salida que actúa en la cara inferior del diafragma tiende a cerrar la válvula; este mismo efecto se produce por la acción de la presión de entrada en la parte inferior del obturador. Cuando se calibra la válvula a la presión deseada, el resorte de control debe ser capaz de equilibrar, tanto el efecto de la presión de entrada, como el de salida.

La válvula reductora de presión tiene dos inconvenientes: permite pequeñas fluctuaciones de la presión de salida y tiene una capacidad pequeña en relación con su tamaño. Sin embargo, es adecuada para aplicaciones sencillas donde la precisión no es esencial y en las que el flujo de vapor es pequeño y constante.

En la figura 25, que se muestra a continuación, se ilustra una **válvula reductora de presión con piloto**.

Figura 25. Válvula reductora de presión con piloto



Fuente: Spirax Sarco. Principios prácticos de conservación de energía. Pág. 70

Cuando se requiere un control de presión preciso o de mayor capacidad, se debe usar una **válvula reductora con piloto**. Una válvula de este tipo se muestra en el esquema de la figura 25. La presión reducida actúa en la parte inferior del diafragma piloto “C” bien sea a través del tubo de control “F”, cuando se instala, o directamente a través de “I” compensando la presión, que se ejerce el muelle de ajuste “B” por la parte superior.

Cuando la presión reducida disminuye, actúa la presión del muelle, abriendo la válvula piloto “E” y admitiendo vapor a través de “D”, hasta la parte inferior del diafragma “K”. La presión de este vapor tiende a abrir la válvula “H”, contra la acción del muelle antagonista “G”, que permite que pase mayor cantidad de vapor vivo y vuelve a alcanzar la presión adecuada a la salida.

Si la presión de salida aumenta excesivamente, ésta actuará cerrando la válvula piloto. El fluido retenido en la parte inferior del diafragma principal, “K” irá hacia la salida de la válvula, a través de la tubería “L” y el orificio “J”, con lo que la válvula principal empujada por el muelle “G” tenderá a cerrar.

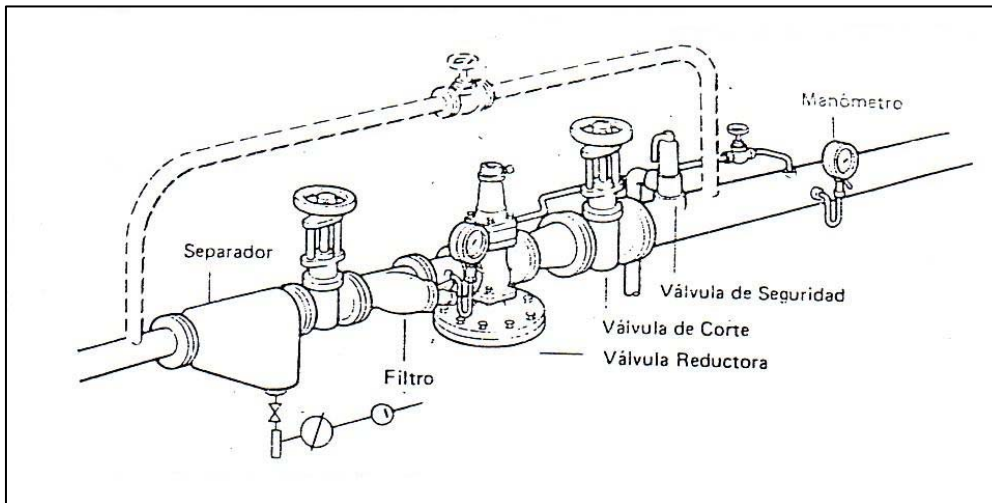
La válvula piloto quedará en una posición que permita compensar el flujo a través de “J” y mantener la presión necesaria bajo el diafragma, para que la válvula principal permanezca en la posición requerida en función de la presión de que se dispone a la entrada, y la que se desea a la salida. Cualquier variación de presión o de carga será detectada inmediatamente por el diafragma piloto, que actuara para ajustar la posición de la válvula principal. La presión reducida se fija mediante el volante “A”, que varía la compresión del muelle “B”. Las válvulas de este tipo ofrecen muchas ventajas en relación con las de acción directa. Sólo es necesario que fluya una cantidad pequeña de vapor a través de la válvula piloto, para presurizar la cámara inferior del diafragma principal y abrir totalmente la válvula.

Lo primero y esencial es seleccionar el mejor tipo de válvula para cada aplicación. Cuando se trate de cargas pequeñas, en las que no sea vital un control fino, pueden ser suficientes las válvulas reductoras de acción directa. En los otros casos, es mejor seleccionar una válvula con piloto, particularmente si se producen periodos sin demanda, durante los cuales no deba aumentar la presión a la salida.

Igual que sucede con todas las válvulas de control, se debe evitar el sobredimensionamiento de las válvulas reductoras. Una válvula que trabaje habitualmente demasiado cerca de su asiento, puede sufrir erosiones por el paso constante de vapor a alta velocidad. Además, en esta posición, cualquier pequeño movimiento de esta válvula producirá un cambio de caudal relativamente importante. Con un modelo más pequeño, correctamente dimensionado, se obtendría un mejor ajuste y el riesgo de avería sería menor.

En la figura 26, que se presenta a continuación, se muestra la correcta instalación de las válvulas reductoras de presión.

Figura 26. Instalación de una estación reductora de presión



Fuente: Spirax Sarco. **Principios prácticos de conservación de energía.** Pág. 71

En la figura 26, se muestra un esquema de la correcta instalación de las estaciones reguladoras de presión. Como se ha mencionado, la mayor parte de los problemas de una válvula reductora son provocados por la presencia de humedad o suciedad, por tanto, se deben instalar antes de la válvula reductora un separador de humedad con su respectivo sistema de trampeo de vapor y un filtro de malla fina. El filtro se debe colocar lateralmente para evitar que el cuerpo se llene de agua, y así garantizar que toda la superficie de filtración sea efectiva; también es aconsejable instalarle una válvula en lugar del tapón de drenado de suciedad al filtro, para facilitar su limpieza periódica.

Se deberán dimensionar las tuberías antes y después de la válvula reductora, para evitar excesivas pérdidas de carga. Las válvulas de cierre deben ser de apertura total y del diámetro de las tuberías, y no del de la válvula reductora.

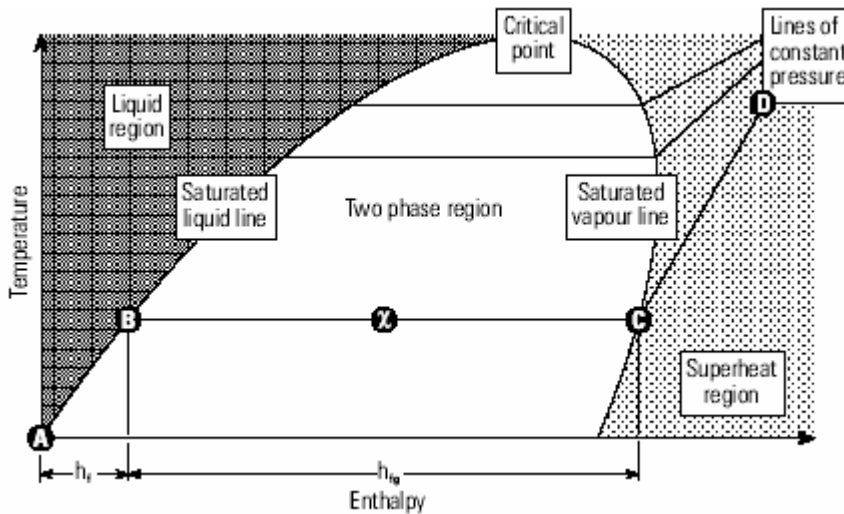
Si la tubería o la instalación de salida no pueden resistir la presión de entrada, se deberá instalar una válvula de seguridad a la salida de la válvula reductora, regulada a la máxima presión, que pueda soportar esta parte de la instalación y además con una capacidad de descarga de vapor igual a la que puede pasar a través de la válvula reductora, totalmente abierta, a esta presión máxima.

El uso del by-pass, ilustrado con líneas punteadas en la figura 26, es únicamente permitido cuando el circuito o la tubería de salida de la reguladora, puede soportar la presión de servicio a la entrada de la reguladora.

1.4 Funcionamiento de los equipos de calentamiento por vapor

Ahora se explicará el funcionamiento de los equipos de calentamiento por vapor. Primero, se va a recordar nuestra curva presión entalpía, la cual se muestra en la figura 27.

Figura 27. Utilización de la curva temperatura-entalpía para equipos de calentamiento



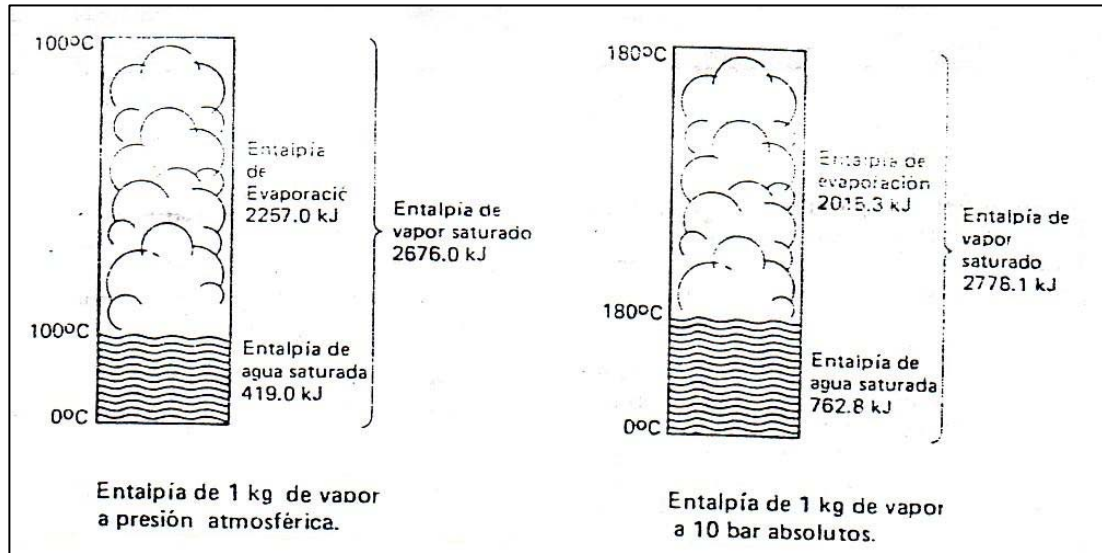
Fuente: Spirax Sarco. **Module 2.2, what is steam?**. Pág. 7

Como se puede observar en esta figura, a medida que nos acercamos al punto crítico (mayor presión) la curva se hace mas cerrada y el calor latente de evaporación y condensación (h_{fg}) se hace menor (región BC), y por lo tanto se requerirá mayor cantidad de vapor para transferir la misma cantidad de calor, que se puede transmitir con un vapor a baja presión.

Se había mencionado que para calentamiento no interesa un vapor húmedo, representado por una calidad X, debido a que tiene menor entalpía que el vapor seco. Por lo tanto en equipos de calentamiento, se va a utilizar un vapor saturado seco, como en el punto C, o se usará un vapor sobrecalentado, en el punto D.

La siguiente figura 28 ilustra cómo varían las cantidades de energía del vapor con la presión.

Figura 28. Variación de los niveles de energía del vapor con la presión



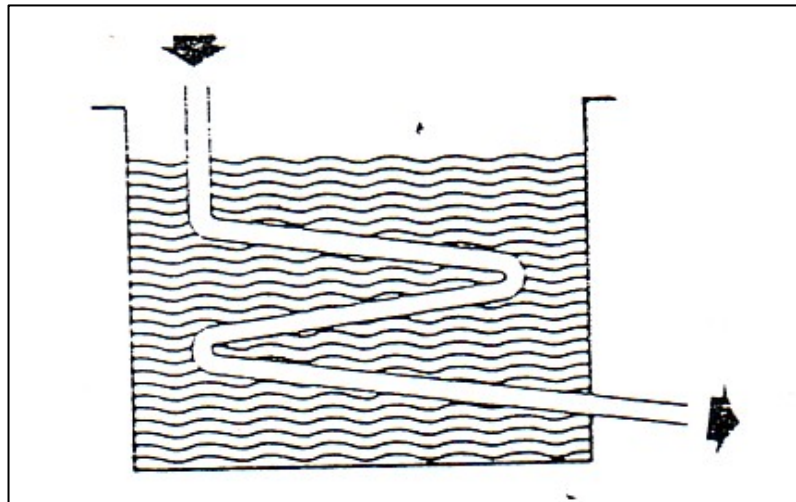
Fuente: Spirax Sarco. Principios básicos de la ingeniería del vapor. Pág. 10

Según se observa en la figura anterior, a la presión atmosférica, el vapor de agua tienen una entalpía del agua (h_f) de 419 KJ y un calor latente (h_{fg}) de 2257 KJ, y se obtiene un total de entalpía del vapor seco (h_g) de 2676 KJ, mientras que a una presión de 10 bares se tiene que h_f es de 762,8 KJ, h_{fg} igual a 2015,3 KJ y h_g de 2776,1 KJ. Como se puede observar, cuando mayor es la presión, se tiene una menor cantidad de calor latente y, por lo tanto, menor es la capacidad de calefacción, y aunque la entalpía del líquido (h_f) es mayor, debido a que este es calor sensible se disipa rápidamente y no llega a ser tan utilizado como el calor latente.

De esto último, se puede afirmar que cuando la presión del vapor aumenta, la entalpía del vapor saturado aumenta ligeramente (h_g); la entalpía del agua saturada (h_f) aumenta, y la entalpía de la mezcla (h_{fg}) disminuye.

Ahora se puede ver qué es lo que sucede, si se supone un tanque con un serpentín calentador como el mostrado en la figura 29.

Figura 29. Tanque con serpentín calefactor



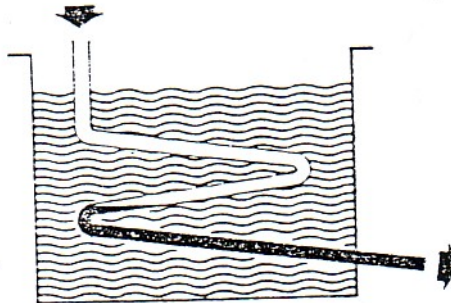
Fuente: Spirax Sarco. **Principios básicos de la ingeniería del vapor.** Pág. 11

El recipiente mostrado se encuentra lleno del producto que se debe calentar, cuyo vapor pasa por el serpentín. Cuando el vapor entra al serpentín, debe quedar atrapado momentáneamente por la trampa de vapor, hasta que ceda su calor (h_{fg}) a la pared metálica del serpentín, el cual la transfiere al producto. A medida que el vapor se condensa, se va formando agua caliente que cae por la parte baja del serpentín. Esta agua llamada “condensado” debe ser drenada por la parte baja del equipo, para establecer así una circulación de vapor. La trampa de vapor evita que escape vapor y permite únicamente la salida de condensado por la parte baja del equipo.

Como se ve los equipos de calentamiento por vapor hacen el proceso inverso de la caldera, en la cual se le suministra al agua el calor proveniente de la combustión, mientras que en los equipos de calentamiento por vapor, aquí se absorbe el calor latente de condensación del vapor y se transfiere al producto.

El condensado debe ser evacuado, tan pronto como sea formado en los equipos, ya que constituye una barrera a la transferencia de calor y, por lo tanto, reduce la eficiencia de los equipos. Si el vapor se condensa a una velocidad mayor que la de drenado, se produce un anegamiento parcial del serpentín calentador del equipo, lo cual conlleva una reducción de la superficie de calefacción del equipo, con menor transferencia de calor al producto y con menor eficiencia del equipo. En la figura 30, se muestra la región sombreada que representa un anegamiento parcial del serpentín calentador.

Figura 30. Tanque con serpentín calefactor parcialmente anegado.



Fuente: Spirax Sarco. **Principios básicos de la ingeniería del vapor.** Pág. 11

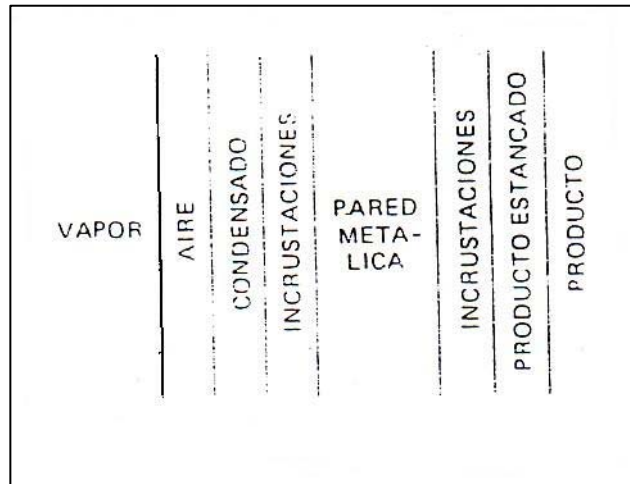
Inicialmente la temperatura del condensado es la misma que la del vapor. Esto podría llevar a pensar que no es relevante el anegamiento de vapor, pero se va a ver que su formación reduce sensiblemente la efectividad del serpentín. Si bien la temperatura del vapor y del condensado recién formado es la misma, la del condensado disminuye si sigue transfiriendo entalpía al serpentín (calor sensible), y por tanto al producto. Este hecho reduce la diferencia de temperatura entre el agua condensada y la pared del serpentín y, por lo tanto, disminuirá el flujo de calor.

Si bien, la entalpía del agua saturada (h_f) se puede utilizar, la máxima transferencia se obtiene, si el agua se elimina del serpentín lo más rápido posible, y deja lugar para el vapor.

1.4.1 Barreras para la transferencia de calor

En las figuras anteriores (29 y 30), se pudiera pensar que la pared metálica del tubo del serpentín es la único obstáculo para la transferencia directa de calor, desde el vapor hasta al producto. Pero, en realidad, esto no es así; en la figura 31 se observa cuáles son las otras barreras que enfrentan los equipos de calentamiento por vapor.

Figura 31. Películas aislantes de la transferencia de calor



Fuente: Spirax Sarco. **Principios básicos de la ingeniería del vapor.** Pág. 15

Películas de aire, agua y óxido están próximas a la pared metálica y actúan como barreras para la transferencia de calor. En la parte del producto, permanece estática una película del mismo y posiblemente restos delgados del producto y óxidos del tubo. La transferencia de calor se reduce sensiblemente debido a estas películas, y con esto se reduce tan bien la eficiencia del equipo.

La limpieza regular es la solución óptima para eliminar los óxidos o la suciedad, mientras que la agitación del producto puede reducir de alguna manera el líquido estático. En la parte del vapor, se puede mejorar la transferencia de calor limpiando la tubería de óxidos o impurezas arrastradas por el vapor.

También puede ayudar un correcto funcionamiento de la caldera que impide el arrastre de gotas con productos contaminantes. Sin embargo, las películas de aire y condensado requieren mayor atención.

Se sabe que cuando el vapor entra en contacto con la superficie fría de transferencia de calor, cede su entalpía de evaporación y se condensa. La condensación puede producir gotas de agua o formar inmediatamente una película completa.

El agua tiene sorprendentemente una elevada resistencia a la transferencia de calor. Una película de agua de tan solo 0.25mm de espesor ofrece la misma resistencia a la transferencia de calor, que una pared de hierro de 17 mm o una de cobre de 120 mm.

La película de aire tiene todavía un efecto más drástico, ya que una película de aire de solo 1mm de espesor puede ofrecer la misma resistencia que una película de 25 mm de agua; una de 1,7 m hierro o una de 12,0 m de cobre. Es por eso que los materiales aislantes más efectivos están constituidos por una masa de células de aire diminutas, reunidas mediante fibras no conductoras.

Como se mencionó anteriormente, ayuda grandemente el mejorar la calidad de vapor instalando a la entrada de los equipos, filtros, separadores de humedad y venteadores de aire en la parte alta del equipo, para reducir estas barreras a la transferencia de calor.

1.4.2 Superficie de calefacción

La superficie calefactora del serpentín se conoce como superficie de calefacción. Para lograr la máxima transferencia calorífica del vapor al producto, hay que usar toda la superficie de calefacción.

Esta claro que si una parte de esta superficie está cubierta, el área a través de la cual se puede efectuar transferencia de calor desde el vapor al producto se reducirá en la misma proporción. Esto es exactamente lo que sucede si el condensado queda retenido en la parte baja del espacio dedicado al vapor. Parte de la superficie de calor estará cubierta por agua y no se obtendrá la misma transferencia de calor, que si se utilizara la totalidad de la superficie de calefacción.

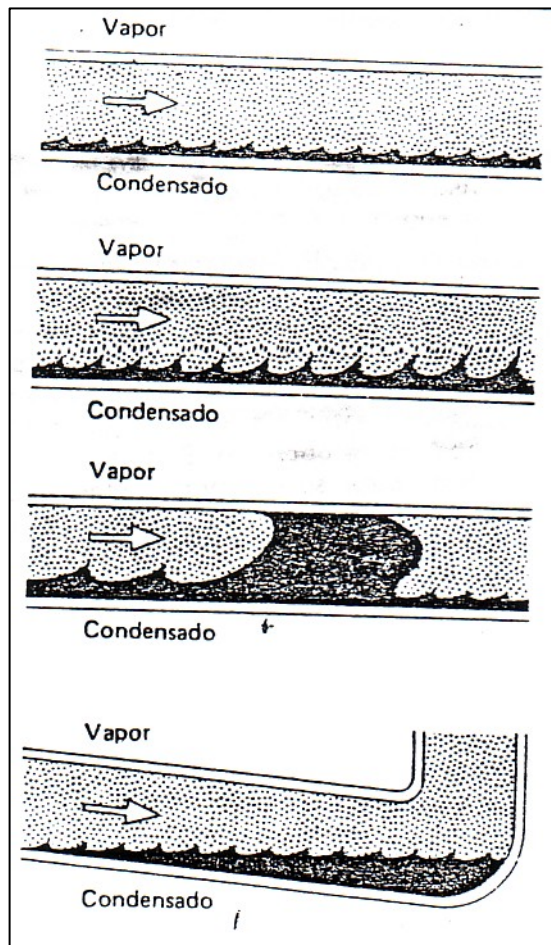
El *área utilizable* para transferir calor es uno de los tres factores principales que controlan la cantidad de entalpía transferida del vapor al producto. *La diferencia de temperatura entre el vapor y el producto* es otro factor y el flujo total de calor; se estima que es directamente proporcional a esta diferencia de temperatura. El tercer factor *que controla el flujo total de entalpía es el coeficiente* de transferencia de calor, el cual depende de la resistencia que oponen al paso de energía las diferentes películas, que se encuentran entre el vapor y producto, tal como se explicó anteriormente.

1.4.3 Condensación de vapor en tuberías

Tan pronto como el vapor deja la caldera, empieza a ceder parte de su entalpía a cualquier superficie con menor temperatura. Al hacer esto, una parte del vapor se condensa convirtiéndose en agua a la misma temperatura. Este condensado viaja en la parte inferior del tubo.

Primero, se forman pequeñas gotas, las cuales debido a la circulación del flujo se van uniendo con otras, formando gotas más grandes, las cuales producen golpes de ariete en los cambios bruscos de dirección, debido al choque de las gotas de agua con la superficie de los codos. Por esa razón, se deben instalar accesorios que drenen esta humedad, tan pronto como se vaya formando. En la figura 32, que se muestra a continuación, se ilustra la secuencia de formación de condensado que se acaba de explicar.

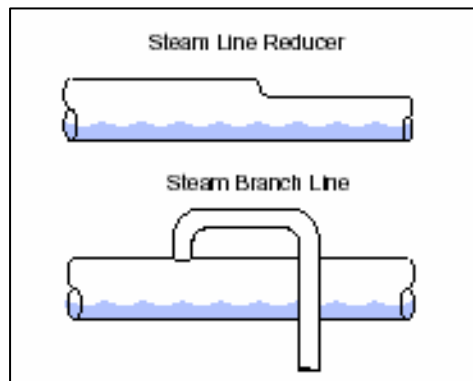
Figura 32. Vapor y condensado en tuberías



Fuente: Spirax Sarco. **Instalación correcta de las trampas para vapor.** Pág.12

Por esta razón, para evitar la acumulación del condensado en tuberías, se deben utilizar reductores excéntricos y hacer las derivaciones de vapor para los equipos, por la parte superior del tubo, para garantizar el suministro de vapor seco a los equipos de calentamiento por vapor, y con ello se asegura la máxima eficiencia térmica de los equipos. En la figura 33, que se presenta a continuación, se ilustra esta condición.

Figura 33. Toma de vapor para los equipos



Fuente: Spirax Sarco. **Design of fluid systems**. Pág. 15

1.5 Recuperación de condensado

El vapor generado por las calderas es transportado a los puntos en donde se requiere energía calorífica mediante el sistema de tuberías. Se va a describir primero el circuito de vapor y posteriormente se centrará en las bombas de recuperación de condensado. El condensado formado en los equipos de calefacción y en las tuberías debe ser retornado a la caldera para que sirva como agua de reposición. Se dice que el condensado se debe recuperar, debido a que nos ofrece las siguientes ventajas:

- a) Tiene bajo contenido de oxígeno por efecto de la temperatura, por lo que no produce corrosión en las tuberías.

- b) Ayuda a bajar costos de combustible, debido a que es agua ya calentada y tienen temperatura alrededor de los 80 °C, por lo que ayuda a obtener ahorros en combustible, debido a que se necesita suministrarle menor cantidad de energía para lograr su evaporación.

- c) Mejora las condiciones físico-químicas del agua. El condensado ayuda a mejorar las condiciones de dureza (Ca, Mg y Si), alcalinidad, sólidos disueltos y PH (acidez) del agua, lo cual produce ahorro significativo en costos de tratamiento químico del agua de alimentación de las calderas.

- d) La reducción del choque térmico de la caldera, al introducir agua caliente en lugar de agua fría, se traduce en un alargamiento de la vida útil de la caldera y en la eficiencia de la misma.

1.5.1 Circuito de vapor

El circuito de vapor está formado por el sistema de distribución de vapor a los equipos, y por el sistema de recuperación del condensado.

En primer lugar, el sistema de distribución de vapor está formado por una o más tuberías de distribución, desde la caldera hasta el punto de consumo de vapor. A partir de estas tuberías, otras de menor diámetro transportan el vapor hasta los equipos individuales. Las tuberías de derivación para los equipos, deben ser extraídas de la parte superior de las tuberías de vapor, para garantizar el suministro de un vapor seco a los equipos, y que el condensado que viaja en la parte inferior de las tuberías se acumule en los equipos.

Cuando la válvula de salida se abre (por supuesto, lentamente), el vapor sale inmediatamente hacia la tubería de distribución. En vista de que inicialmente las tuberías se encuentran frías, el vapor comienza rápidamente a transmitir calor y a formar condensado.

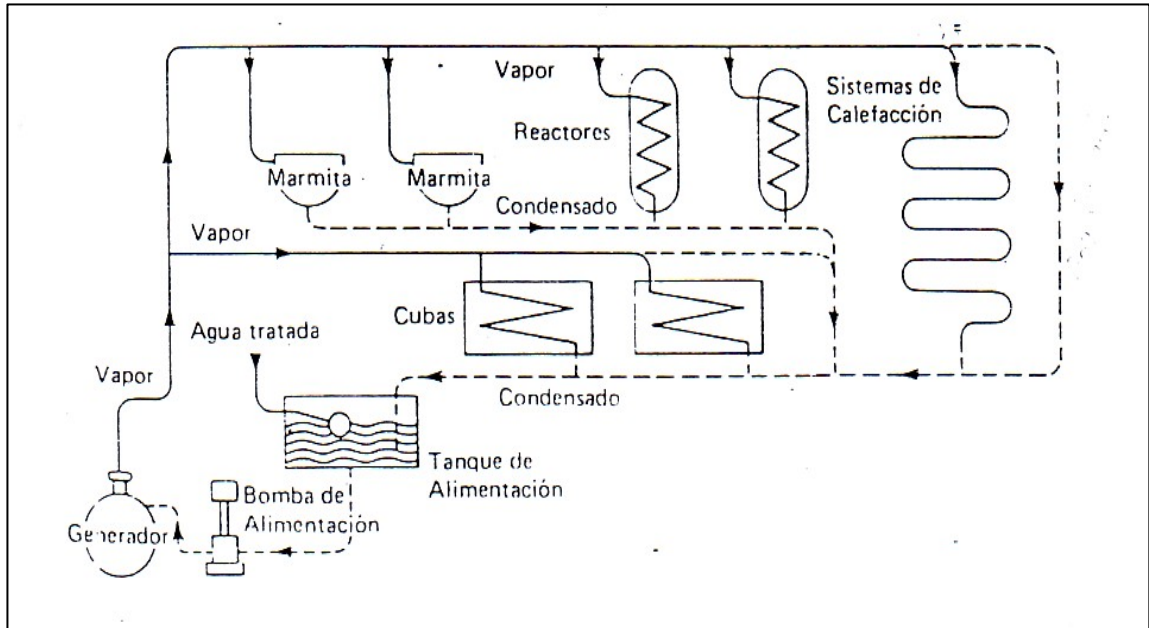
El aire que rodea las tuberías de vapor también se encuentra más frío que el vapor. El agua formada por la condensación cae a la parte baja de la tubería y circula empujada por el flujo de vapor hasta los puntos bajos de la tubería de distribución. Por esa razón por la cual se debe drenar la tubería en puntos intermedios y en los finales de línea.

Cuando la válvula de un equipo se abre, el vapor que se encuentra en el sistema de distribución entra de nuevo en contacto con superficies más frías de los serpentines calefactores, con lo cual cede nuevamente su entalpía de evaporación y se condensa. Entonces se establece un flujo continuo de vapor que sale de la caldera. Y para poderlo suministrar, se debe generar vapor continuamente, lo cual se consigue inyectando combustible al horno de la caldera y bombeando agua a la caldera para compensar la que se evapora.

Si se introduce en la caldera agua caliente, en lugar de agua fría, se deberá menos entalpía para llevar el agua a su punto de ebullición, con la consiguiente reducción de la cantidad de combustible necesaria para generar vapor.

El condensado, que se forma en las tuberías de distribución y en los equipos de proceso, se puede utilizar para esta alimentación de la caldera con agua caliente. Por eso, el sistema básico de vapor se debe complementar, como se indica en la figura 34, que se muestra a continuación.

Figura 34. Circuito de vapor



Fuente: Spirax Sarco. **Principios básicos de la ingeniería del vapor.** Pág. 18

Según se observa en la figura anterior, en las líneas punteadas, se muestra el condensado de la salida de los equipos y el de las tuberías, el cual se dirige mediante tuberías al tanque de alimentación para la caldera, y mediante un sistema de bombeo se introduce nuevamente a la caldera.

Siempre se debe buscar retornar el condensado por gravedad, instalando las tuberías de retorno con una pendiente del 1 al 2%. Pero cuando las presiones son bajas, o las alturas son demasiado elevadas para la presión (2.5 pies por PSI), se debe hacer uso de sistemas de bombeo para este cometido.

1.5.2 Bombas de recuperación de condensado

El manejo eficiente del condensado es uno de los medios de ahorrar energía y bajar costos de mantenimiento. El condensado tiene propiedades valiosas, ya que ha sido tratado y está caliente. Retornar el condensado es vital para el máximo aprovechamiento energético y para obtener ahorros considerables, ya que se representan los tres ahorros siguientes: ahorro en los costos de aguas y efluentes, ahorro en los costos de tratamiento químico y, lo mas importante, el ahorro en costos de energía, que se consigue en el precalentamiento de agua para caldera, que son del orden del 20% en combustible.

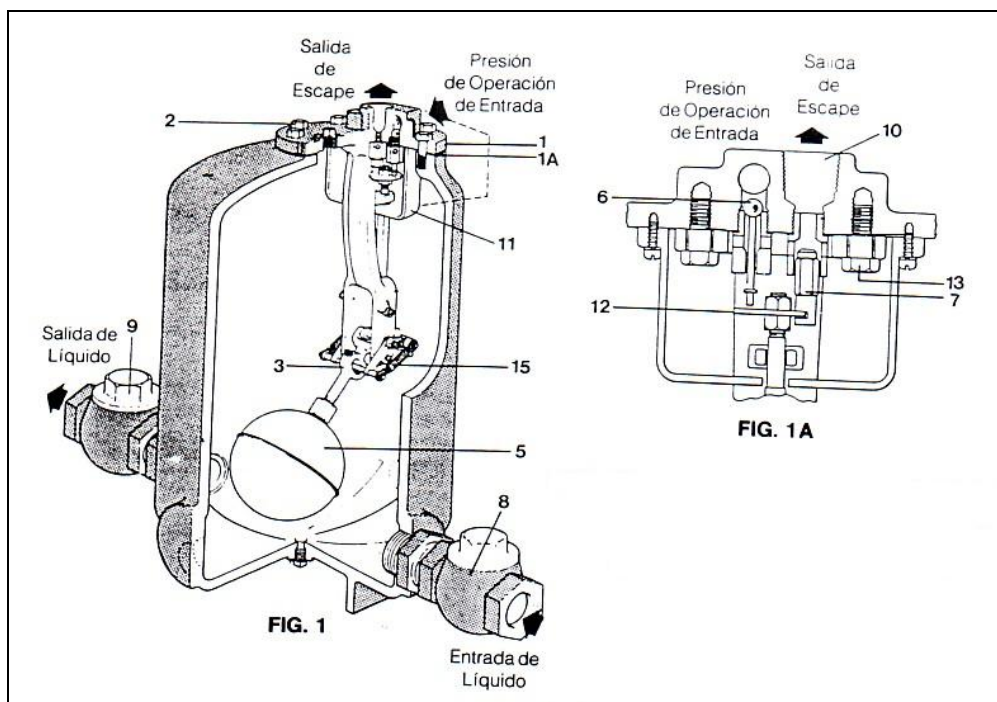
El uso de una bomba de recuperación de condensado, se recomienda para el drenaje y retorno de condensado y otros líquidos en sistemas al vacío, intercambiadores de calor, calentadores de aire, así como cualquier equipo que condense vapor, ya que en estos equipos se trabaja con presiones bajas, y por eso el condensado no puede ser recuperado por gravedad.

Siempre se debe buscar recuperar el condensado por gravedad, pero cuando la diferencia de niveles no lo permite, se debe hacer uso de una bomba de recuperación de condensado en los puntos más bajos del sistema.

En esta sección, se explicara el funcionamiento de una bomba operada por presión, la cual puede funcionar con vapor, aire comprimido o gas, con una presión mínima de 5 PSI, y hasta un máximo de 125 PSI sin ajustes. Cada libra de presión puede levantar el condensado hasta una altura aproximada de dos pies. La presión mínima de operación, requerida para una aplicación particular, dependerá, tanto de la altura a la que el líquido va a ser bombeado, como de la presión del sistema a la que el líquido va a ser transferido.

La bomba continuará operando siempre que exista una presión diferencial de 1 lb. entre la presión de entrada y la contrapresión, aunque la capacidad disminuirá algo. El diseño del mecanismo operado por resorte es tal, que no requiere energía externa y la bomba no ciclara, hasta que en el cuerpo de la misma se acumule suficiente cantidad de líquido que permita la apertura rápida de la válvula de entrada a vapor. A continuación, el líquido será descargado entre 5 y 12 segundos. En la figura 35, que se presenta a continuación, se ilustra una bomba operada por presión, cuyo funcionamiento se describirá.

Figura 35. Bomba de recuperación de condensado operada por presión



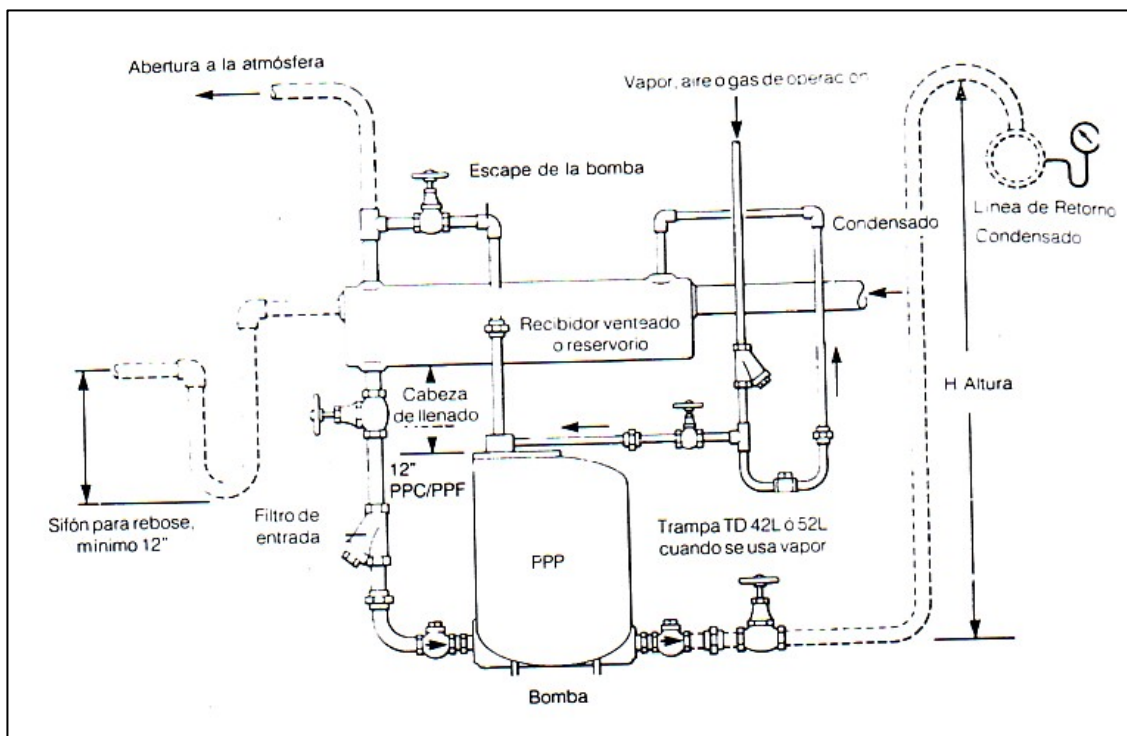
Fuente: Spirax Sarco. **Catálogo de Productos.** Pág. 2

1. Antes del arranque, el flotador (5) está en la posición más baja, la válvula de admisión de vapor (6) está cerrada y la válvula de desfogue (7), abierta.

2. Cuando el líquido fluye por gravedad al interior de la bomba, a través de la válvula cheque de entrada (8), el flotador (5) comenzara a elevarse.
3. A medida que el flotador (5) continúa ascendiendo en el mecanismo interior, se incrementa la tensión del resorte (15). Cuando el flotador alcanza la posición más elevada del recorrido, se libera instantáneamente de la energía del resorte, haciendo que el mecanismo se dispare moviendo hacia arriba la varilla principal, para abrir la válvula de admisión de vapor y cerrar la de escape simultáneamente.
4. El vapor entra ahora por la válvula (6) y desarrolla una presión en el interior del cuerpo de la bomba que fuerza el líquido, a través de la válvula cheque de entrada (9). La válvula cheque de entrada (8) estará cerrada, mientras dura el ciclo de descarga.
5. A medida que el nivel del líquido en el interior de la bomba decrece, va cambiando la posición del flotador. Cuando alcanza su posición más baja, se libera la energía que se fue acumulando en el resorte (15). El accionamiento del mecanismo hace que la varilla descienda de una vez cerrando la válvula de admisión de vapor y abriendo simultáneamente la válvula de venteo (7).
6. El líquido fluirá nuevamente a través de la válvula de retención (8), para llenar el cuerpo de la bomba y repetir el ciclo.

Estas bombas son necesarias cuando el condensado se debe elevar a mayor altura, que la del sistema recolector de condensado, o cuando se lleva a sistemas de mayor presión. En la figura 36, que se presenta a continuación, se muestra la instalación típica de un sistema de bombeo de condensado.

Figura 36. Instalación de un sistema de bombeo de condensado



Fuente: Spirax Sarco. **Catálogo de Productos.** Pág. 6

La bomba es operada por vapor, aire comprimido o gas, por la parte superior, tal y como se observa en la figura; además justo a un lado de la entrada, se encuentra el venteo o desfogue para el fluido empleado para la operación de la bomba.

Justo encima de la bomba se debe instalar un manifold o reservorio, para captar el condensado, mientras la bomba está descargando, ya que en esta etapa no recibe más condensado. El reservorio debe estar a aproximadamente 1 pie por encima de la bomba y debe instalarse en el un venteo, para evitar que éste se presurice por la formación de revaporizado.

Lo anterior es debido a que el condensado, que se encontraba a mayor presión, tiene una temperatura mayor, y en el reservorio se encuentra a presión atmosférica, por lo que todavía tiene suficiente temperatura para existir como líquido, por lo que por el cambio de presión, una parte del líquido vuelve a evaporarse, que se conoce como revaporizado o vapor flash.

Cuando se utiliza vapor, para el accionamiento de esta bomba, se debe instalar una trampa a la entrada de la alimentación para la bomba, ya que por los periodos que no se utiliza vapor se formara condensado y éste debe ser enviado al reservorio.

En el reservorio, debe instalarse además un sifón para el rebalse de un mínimo de 1 pie, para evitar el rebalse y presurización del reservorio. Además, se necesita que el tanque tenga un volumen suficiente para recibir el condensado durante el ciclo de descarga de la bomba. También es importante que tenga las dimensiones apropiadas, para permitir una buena separación del vapor flash.

En la tabla V, que se muestra a continuación, se muestra el dimensionamiento adecuado de un reservorio venteado para una sola fuente o desde múltiples fuentes en un sistema, que asegurará un suficiente volumen para el almacenamiento de condensado y suficiente área para la separación del vapor flash. El reservorio puede ser un tubo de diámetro grande o un tanque.

Tabla V. Dimensionamiento de un recibidor venteado.

Tamaño del Recibidor Venteado hasta 3 x 2			
Vapor Flash Hasta:	Recibidor Diámetro	Largo	Diámetro Venteo
75 pph	3"	30"	1-1/2"
150 pph	4"	30"	2"
300 pph	6"	36"	2-1/2"
600 pph	8"	36"	3"
900 pph	10"	36"	4"
1200 pph	12"	36"	5"
2000 pph	16"	36"	6"

Idem para 4 pulg.			
1000 pph	16"	60"	5"
2000 pph	20"	60"	6"
3000 pph	24"	60"	8"
4000 pph	26"	60"	10"
5000 pph	28"	60"	12"
6000 pph	30"	72"	12"
7000 pph	32"	72"	14"
8000 pph	36"	72"	16"

Fuente: Spirax Sarco. **Catálogo de Productos.** Pág. 6

En la tabla VI, que se presenta a continuación, se muestra el correcto dimensionamiento de un sólo tubo reservorio, para drenar un solo equipo en un sistema cerrado.

Tabla VI. Dimensionamiento de un tubo reservorio

Tubo Reservorio hasta 3 x 2					
Carga de Concentrado Lb. per Hr.	Diámetro del tubo reservorio				
	1-1/2'	2'	3'	4'	6'
500 or Less	2'				
1000	3'	2'			
1500	5'	3'			
2000	6'	4'	2'		
3000		6'	6'		
4000		8'	3.5'	2'	
5000		10'	4.5'	2.5'	
6000			5.5'	3'	
7000			6'	3.5'	
8000			7'	4'	
9000			8'	4.5'	2'
10,000			9'	5'	2.2'
11,000			10'	5.5'	2.4'

Idem para 4 pulg.					
Capacidad del líquido reservorio Lbs./Hr	Galones (Min.)	Diámetro del tubo reservorio			
		8"	12"	16"	20"
10,000	20	7"	3.5	3'	
20,000	40	15'	7'	4.5'	3'
30,000	55	20'	9.5'	6'	3.5'
40,000	65	24'	11'	7.5'	4'
50,000	75	27'	13'	9'	5'

Fuente: Spirax Sarco. **Catálogo de Productos.** Pág. 6

2. TRAMPAS DE VAPOR

En el capítulo anterior, se explican los conceptos fundamentales de la generación y uso eficiente de vapor, y ahora que ya se sabe cómo funcionan los equipos de calentamiento por vapor, se enfocará en la forma de evacuar el condensado formado en los equipos. Se menciona que el condensado representa una barrera a la transferencia de calor y debe ser evacuado lo más rápido posible, para evitar la reducción de la superficie de calefacción, y con ello la eficiencia de los equipos de calentamiento por vapor.

Primero, que una **trampa de vapor** es una válvula automática para el drenado de condensado y gases no condensables de los circuitos o sistemas de vapor.

Pero, *¿por qué se utilizan las trampas de vapor?*; la respuesta se analizará primero suponiendo que a la salida de nuestro serpentín calentador se tiene una válvula común de macho; se sabe que esta válvula es para apertura rápida; ahora bien, el vapor debe ceder su calor latente al producto que se va a calentar y, una vez que lo haya hecho, se condensará y se precipitará al fondo del equipo; en este momento, se debe abrir la válvula de macho para evacuar el condensado, para evitar un anegamiento parcial del serpentín calentador, y con ello la reducción de la superficie de calefacción y la eficiencia de los equipos. Si la válvula permanece abierta por mucho tiempo, entonces se tendrá una pérdida de vapor, lo cual es antieconómico, ya que se pierde energía y todos los costos del vapor (combustible, costo del agua, tratamiento de agua, energía eléctrica y otros asociados).

Pero si se abre por muy corto tiempo, entonces el condensado no se drena adecuadamente y puede producirse un anegamiento del serpentín calefactor, y resulta igualmente dañino para el sistema. Aun cuando un operario muy experto esté a cargo de la apertura o cierre de la válvula, se corre el riesgo de perder vapor o de sufrir anegamiento en el serpentín calefactor, debido a que las tasas de condensación varían muy frecuentemente, ya que durante los arranques, debido a la mayor diferencia de temperaturas, se produce mayor condensación que en el régimen normal de carga.

Segundo si se supone que en lugar de la válvula de macho para apertura y cierre rápido, se utiliza una válvula de globo, la cual permite estrangulamiento del flujo, se corre el riesgo de que si se mantiene siempre a apertura parcial la válvula; si la apertura es muy poca, se estaría anegando el serpentín calefactor, y si hay demasiada apertura, se perdería vapor y en ambos casos sería perjudicial.

Como se ve, cualquier tipo de válvula manual es ineficaz para la eliminación de condensado y provoca pérdidas de energía importantes. Ninguna de las opciones puede seguir las variaciones en la velocidad de condensación, sin provocar anegamiento del sistema, o pérdidas de vapor.

La solución a este problema es el uso de las válvulas automáticas de drenado de condensado, llamadas trampas de vapor, ya que éstas son capaces de detectar la diferencia entre vapor y condensado, y de reaccionar en consecuencia. Si las condiciones en cualquier equipo de una planta calentada por vapor, fuesen las mismas, sería razonable utilizar el mismo tipo de trampa, pero como no es posible, se tienen diferentes trampas para aplicaciones específicas.

2.1 Tipos de trampas de vapor

Como se ve, la principal función de una trampa de vapor es descargar condensado, sin permitir que escape el vapor vivo. Ya se ha mencionado que no existe una “trampa universal” que resuelva todas las aplicaciones posibles. Por esta razón, hay que familiarizarse con cada uno de los principales grupos de trampas y ver qué ventajas se pueden obtener de cada tipo.

En la tabla VII que se presenta a continuación, se describen los principales cuatro grupos de trampas para vapor.

Tabla VII. Grupos de trampas para vapor

Grupo	Tipos de trampas que lo componen
Termostático	a) De presión balanceada b) De expansión líquida c) De expansión metálica d) Bimetálica
Mecánico	a) De flotador libre b) De flotador y palanca c) De balde abierto d) De balde invertido
Termodinámico	a) Termodinámicas
Otros	a) De impulso b) De laberinto c) De placa orificio

Fuente: Spirax Sarco. **Las trampas para vapor y la eliminación de condensado.** Pág. 2

Ahora se explicará el funcionamiento, ventajas y desventajas de cada uno de los tipos de trampas para vapor.

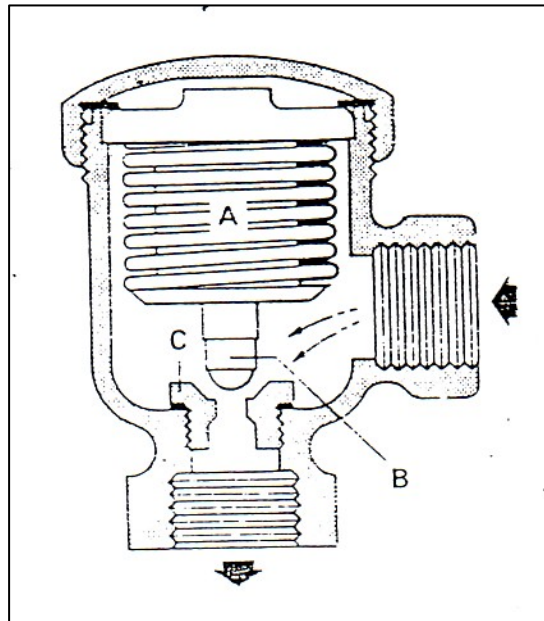
2.1.1 Grupo termostático

Este tipo identifica el vapor y el condensado, mediante la diferencia de temperatura, que opera sobre un elemento termostático. El condensado debe enfriarse por debajo de la temperatura del vapor antes de ser eliminado.

2.1.1.1 Tipo de presión balanceada

En la figura 37, que se presenta a continuación, se muestra una trampa de este tipo.

Figura 37. Trampa termostática de presión balanceada



Fuente: Spirax Sarco. **Las trampas para vapor y la eliminación de condensado.** Pág. 25

El elemento termostático "A" está fabricado, a partir de metal corrugado que puede expandirse y contraerse. Una válvula "B", en la parte baja de este elemento, se ajusta contra el asiento "C", si aquél se expande.

La parte superior de este elemento está fija, con lo cual todas las expansiones o contracciones significan movimientos en la parte libre "B". El elemento va lleno de una mezcla de alcohol, que tiene un punto de ebullición más bajo que el del agua.

Cuando se abre vapor al sistema, el aire es expulsado, a través de la válvula abierta "B". El condensado frío seguirá al aire y será descargado por el mismo lugar. A medida que el condensado se va calentando, habrá transferencia de calor a la mezcla alcohólica que llena el elemento. Antes de que el condensado alcance la temperatura del vapor, la mezcla alcanzará la ebullición. Tan pronto como empieza a hervir, se produce vapor de alcohol, que hace aumentar la presión interna del elemento. Esta presión es superior a la que hay en el cuerpo de la trampa, con lo cual el elemento se expande, apoyando la válvula "B" en su asiento "C".

La trampa ha cerrado, con lo cual el vapor que sigue al condensado no puede escapar. Cuando el condensado que llena el cuerpo se enfría, también se enfría la mezcla alcohólica del interior del elemento, que hace que se condense. Con esto, disminuye la presión que mantiene cerrada la válvula, el elemento se contrae y la válvula se abre. El condensado es descargado y se puede reiniciar el ciclo.

La presión de vapor no afecta la operación de la trampa. Lo que actúa es la diferencia entre la presión del interior y la exterior del elemento, la cual es función de la diferencia de temperatura entre el vapor y el condensado. Como ya se sabe, la temperatura del vapor aumenta con la presión, con lo cual la trampa de presión balanceada se ajusta automáticamente a cualquier variación de presión. Cuanto mayor es la presión, mayor es la presión en el elemento que provoca el cierre de la trampa.

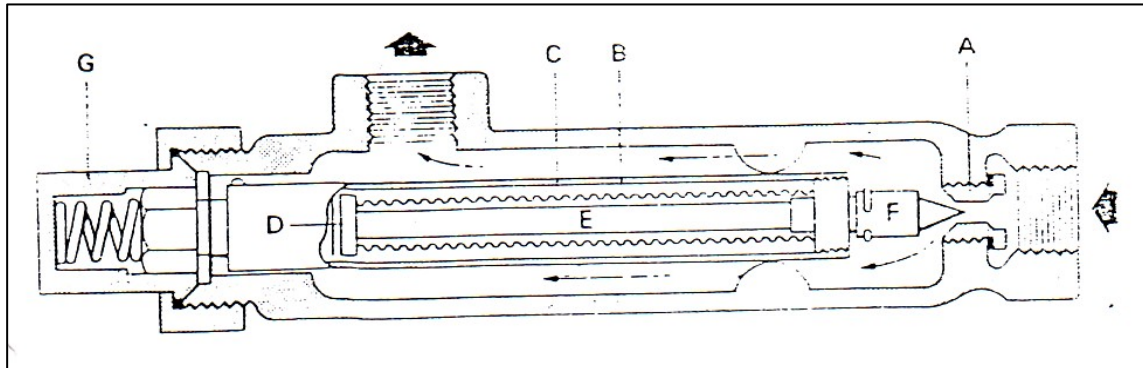
Las principales ventajas de este tipo de trampa son: que son trampas pequeñas, ligeras y tienen gran capacidad en comparación con su tamaño. La válvula está totalmente abierta en el arranque, permite la descarga de aire libremente y proporciona la máxima salida del condensado, cuando es más necesario. No son afectadas por las heladas, a menos que haya una elevación posterior del condensado, que pueda inundar la trampa cuando no hay vapor.

Las principales desventajas de este tipo de trampas es que son susceptibles a los golpes de ariete o por condensado corrosivo, aunque hay elementos de acero inoxidable, que pueden soportar mejor estas condiciones. La mayoría de trampas de presión balanceada no pueden trabajar con vapor sobrecalentado.

2.1.1.2 Tipo de expansión líquida

La trampa más común de este tipo de trampa se muestra en la figura 38, que se presenta a continuación.

Figura 38. Trampa termostática de expansión líquida



Fuente: Spirax Sarco. **Las trampas para vapor y la eliminación de condensado.** Pág. 25

Opera por la expansión y contracción de un termostato lleno de líquido, que responde a la diferencia de temperatura entre el vapor y el condensado.

Cuando no hay vapor, el aire y el condensado salen a través de la válvula abierta "A". El elemento termostático "B" está lleno de aceite "C", que esta en contacto con el pistón de movimiento libre. En un extremo, la varilla central del pistón "E" se fija a la válvula "F". Cuando la temperatura del condensado que pasa a través de la trampa aumenta, el calor se transmite al aceite "C", con lo que se expande. Esta expansión actúa sobre el pistón "D" y la válvula "F", y luego es empujada lentamente hacia el asiento reduciendo progresivamente el flujo del condensado. La trampa se regula para que cierre completamente antes de que salga vapor.

Si se forma condensado de un modo continuo y a velocidad constante, la válvula quedará en posición fija para permitir la salida de este condensado. Si la cantidad de condensado aumenta, llenará la tubería previa a la válvula y la enfriará. Este enfriamiento contraerá el aceite y la válvula retrocederá de su posición permitiendo salir un volumen mayor de condensado y viceversa, si llega menos condensado a la trampa, estará a mayor temperatura debido a la proximidad de vapor. Esta mayor temperatura expandirá el aceite y la apertura de la válvula se reducirá.

Entre las principales ventajas de este tipo de trampas están: se puede ajustar para descargar a muy bajas temperaturas; igual que la trampa de presión balanceada, ésta se encuentra totalmente abierta cuando se enfría, por lo que permite la rápida descarga de aire y la máxima carga de condensado durante el arranque. Además, esta trampa no puede helarse, a menos que quede llena de condensado por un aumento de nivel en la tubería.

Una ventaja extra que tiene esta trampa sobre la de presión balanceada es que se puede utilizar con vapor sobrecalentado y soportar vibraciones y golpe de ariete.

Las principales desventajas de este tipo de trampa son: esta trampa no responde a cambios rápidos de presión; y puede ser afectada por corrosivo. Y como esta trampa descarga condensado a una temperatura de 100 °C o inferior, no debe ser utilizada en aplicaciones que requieran eliminación inmediata de condensado, ya que en esta trampa el condensado se debe enfriar hasta esta temperatura.

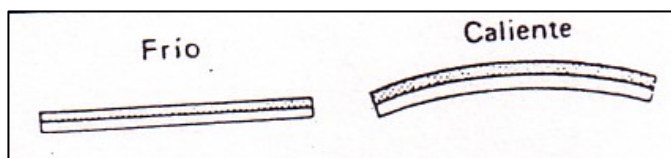
2.1.1.3 Trampa de expansión metálica

El principio de operación de esta trampa es muy similar a la de expansión líquida. La diferencia es que el movimiento de la válvula se obtiene por la expansión de una varilla metálica, en lugar de un elemento lleno de aceite. El movimiento obtenido por la variación de un grado de temperatura, por parte de la varilla, es menor que en el caso del aceite. Por esta razón, el tipo de expansión metálica no es tan flexible como el tipo de expansión líquida. Con el fin de obtener un movimiento apreciable, la varilla debería tener 1 m de longitud. Por esa razón esta trampa ya no se utiliza.

2.1.1.4 Tipo bimetalico

En este tipo de trampa, el movimiento de la válvula se obtiene por la deflexión de una lámina compuesta por dos metales que se dilatan una cantidad diferente cada uno, cuando se calientan. En la siguiente figura 39, se ilustra este fenómeno.

Figura 39. Placas bimetalicas

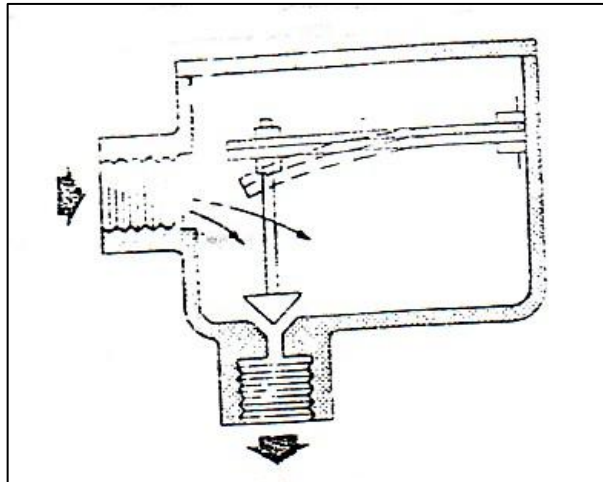


Fuente: Spirax Sarco. **Las trampas para vapor y la eliminación de condensado.** Pág. 27

Si dos láminas delgadas, convenientemente elegidas, se unen y luego se les incrementa la temperatura, como se ve en la figura anterior, el metal que se expande más ocupa la curva externa. Cuando se enfría, se recupera la posición inicial.

En la figura 40, que se presenta a continuación, se ilustra una trampa bimetalica de simple asiento.

Figura 40. Trampa termostática bimetalica de simple asiento.



Fuente: Spirax Sarco. **Las trampas para vapor y la eliminación de condensado.** Pág. 28

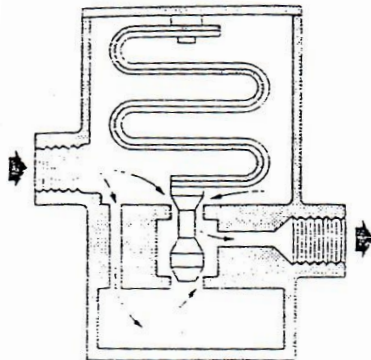
En la figura anterior, se muestra una trampa termostática de una sola placa bimetalica. Un extremo de la misma está fijo al cuerpo de la trampa, mientras que el otro está conectado a la válvula. Aire y condensado pasan libremente a través de la válvula abierta, hasta que el elemento bimetalico se aproxima a la temperatura del vapor.

Cuando se alcance la temperatura determinada de vapor, se curvará hacia abajo y cerrará la válvula. La trampa permanecerá cerrada hasta que el cuerpo se llene de condensado suficientemente frío, para que permita al elemento bimetalico recuperar la posición inicial y abrir la válvula.

Hay que tomar en cuenta dos puntos importantes respecto a esta trampa bimetalica. En primer lugar, el bimetálico se curva a una cierta temperatura fija, de tal manera que la trampa abre y cierra a una temperatura determinada, independientemente de las presiones del vapor (y por tanto de sus temperaturas). En segundo lugar, cuando la válvula, mostrada en la figura 40, se apoya en su asiento, la presión de vapor en el interior de la trampa actúa para mantenerla cerrada contra el esfuerzo del bimetálico. Mientras que el bimetálico no tiene dificultad para cerrar la válvula, cuando se expande por calentamiento, tiene más dificultades para abrir de nuevo una vez que ha cerrado.

Lo anterior significa que el condensado debe enfriarse significativamente, antes de que la válvula pueda abrir, con el anegado parcial que esto provoca. Además de que debido a que la fuerza ejercida por un simple elemento bimetalico es bastante pecunia, se debe utilizar una cantidad importante de bimetálico, lo que implica lentitud en la reacción frente a cambios de temperatura, tanto para abrir como para cerrar la válvula. Por esta razón, hay muchas variaciones de las trampas bimetalicas, para superar estos inconvenientes, como se ilustra en la figura 41, que se presenta a continuación.

Figura 41. Trampa termostática bimetalica de doble asiento



En la figura anterior, se muestra una trampa bimetálica de doble asiento, en la cual mediante un orificio en la parte central, se comunica presión a la parte inferior de la trampa, por lo que las fuerzas se equilibran de ambos lados de la válvula, con lo cual ahora la apertura y cierre de la válvula depende únicamente de la contracción o dilatación del elemento bimetálico.

Con esta nueva disposición del elemento bimetálico, si el equipo produce una cantidad constante de condensado, la trampa podrá tomar una posición que permita una descarga continua de condensado a una temperatura por debajo de la de saturación del vapor.

Con lo que se ha dicho, la operación de estas trampas será satisfactoria, siempre que haya una cierta longitud de tubo, antes de la trampa donde pueda enfriarse el condensado, sin anegar el espacio destinado al vapor.

Existen otras variaciones de las trampas bimetálicas; pero el principio de funcionamiento es el mismo en todas; la única diferencia son las aplicaciones que tenga cada tipo de trampa.

Entre las principales ventajas de las trampas del tipo bimetálico, se tiene que generalmente son pequeñas en tamaño y, sin embargo, tienen una gran capacidad de descarga de condensado. La válvula está totalmente abierta cuando la trampa esta fría, lo cual da una gran capacidad de drenaje de aire y del condensado durante los arranques, que es cuando mas se necesita. Con un diseño adecuado, esta trampa no se hiela, aun trabajando a la intemperie.

La principal desventaja de este tipo de trampa, es que no responden con rapidez a los cambios de caudal o de presión, ya que el bimetal tiene una reacción relativamente lenta a las variaciones de temperatura.

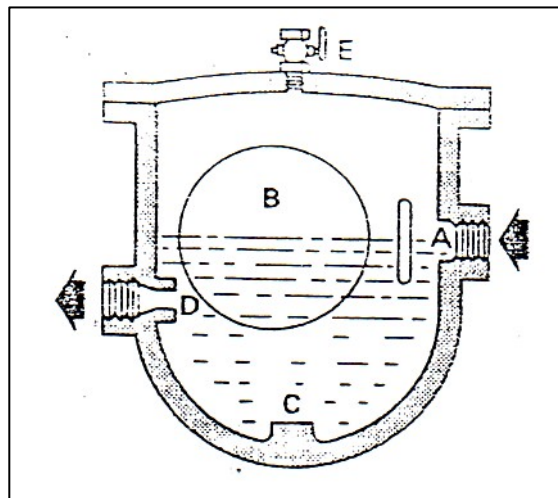
2.1.2 Grupo Mecánico

Las trampas de este tipo operan mecánicamente por la diferencia de densidad entre el vapor y el condensado. El movimiento de un flotador o de un balde actúa sobre la válvula de salida.

2.1.2.1 Tipo de flotador libre

A continuación, se presenta la figura 42, en donde se ilustra el esquema de funcionamiento de una trampa de este tipo.

Figura 42. Trampa mecánica de flotador libre



Fuente: Spirax Sarco. **Las trampas para vapor y la eliminación de condensado.** Pág. 28

En la figura anterior, se ilustra el ejemplo más simple de una trampa de este tipo. Cuando el condensado entra a la trampa a través de "A", el nivel de agua aumenta y el flotador "B" es levantado de su punto de reposo "C". Esto permite al condensado pasar libremente a través del orificio de la válvula "D". Si el flujo de condensado, disminuye; también lo hace el nivel de agua en la trampa y el flotador empieza a tapar la salida "D".

Cuando se ha descargado todo el condensado, el flotador cierra completamente el orificio, evitando cualquier pérdida de vapor. La acción del flotador permite una descarga continua, en función de la cantidad de condensado que llega a la trampa.

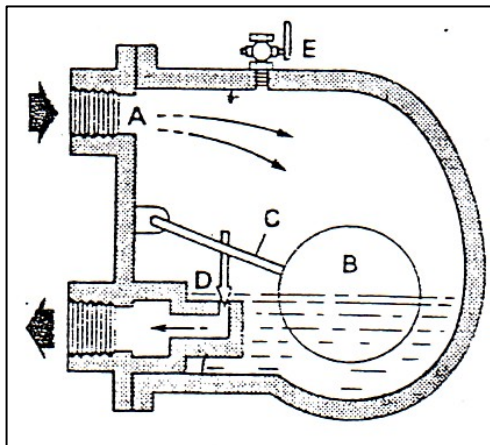
La principal ventaja de esta trampa es que necesita poco mantenimiento, debido a que tiene pocas partes que puedan dañarse.

Las desventajas principales de esta válvula se encuentran en el hecho de que el sellado de líquido, que tiene esta válvula, impide la adecuada salida del aire del sistema a través de la válvula principal. Por esta razón, se debe instalar una válvula manual "E" (figura 42). Otra desventaja es que puede ser difícil obtener un buen asiento con el flotador, de tamaño notable, en el pequeño orificio de salida.

2.1.2.2 Tipo de flotador y palanca

La figura 43 muestra el tipo más simple de trampa de flotador y palanca.

Figura 43. Trampa mecánica de flotador y palanca



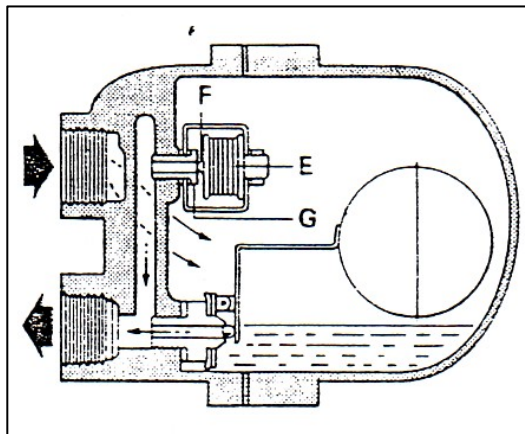
Fuente: Spirax Sarco. **Las trampas para vapor y la eliminación de condensado.** Pág. 28

El condensado entra en el cuerpo de la trampa, a través de la entrada “A” y el flotador “B” sube a medida que aumenta el nivel de agua. La palanca “C” une el flotador a la válvula de salida “D”, la cual abre gradualmente, a medida que el flotador sube. La posición de la válvula varía de acuerdo con el nivel de agua en el cuerpo de la trampa, que da una descarga continua de condensado, para cualquier caudal que no sea superior a la capacidad máxima de la trampa.

Si la carga de condensado disminuye y el vapor llega hasta la trampa, el flotador bajará hasta su posición inferior, y la válvula cerrará firmemente sobre su asiento e impedirá la salida de vapor. El mayor inconveniente de esta trampa es que el aire no puede salir a través de la válvula principal durante el arranque, a menos que se instale una válvula manual “E”, en la parte superior de la trampa, sin embargo, esta solución tienen la desventaja de que requiere de operación manual cada vez que deja de llegar vapor a la trampa.

Una solución mejor se muestra en la figura 44, en donde se presenta una trampa de tipo flotador y termostática, donde se encuentra equipada con un venteador termostático.

Figura 44. Trampa mecánica de flotador con eliminador termostático de aire



Fuente: Spirax Sarco. **Las trampas para vapor y la eliminación de condensado.** Pág. 28

En la figura 44, la válvula manual ha sido reemplazada por un elemento automático “E”, de eliminación de aire. Se trata de un elemento termostático, como los ya explicados. La válvula “F” está totalmente abierta cuando la trampa está fría, con lo que el aire descarga perfectamente en el arranque. Tan pronto como el vapor llega a la trampa, el elemento “E” se expande y empuja la válvula “F” contra su asiento “G”, con lo cual el vapor no puede escapar. Si durante la operación entra aire en la trampa, éste quedará acumulado en la parte superior. Su efecto de enfriamiento hará que el elemento termostático contenga y permita la descarga de aire.

Entre las principales ventajas del tipo de flotador y palanca están que: proporciona una descarga continua de condensado a la temperatura del vapor. Por eso, es la más indicada en aplicaciones en las que la transferencia de calor es importante, en relación con el área de calentamiento disponible. Puede descargar cantidades grandes o pequeñas de condensado con la misma efectividad, y no afecta por los cambios de presión. Cuando tiene elemento termostático, permite la eliminación rápida del aire.

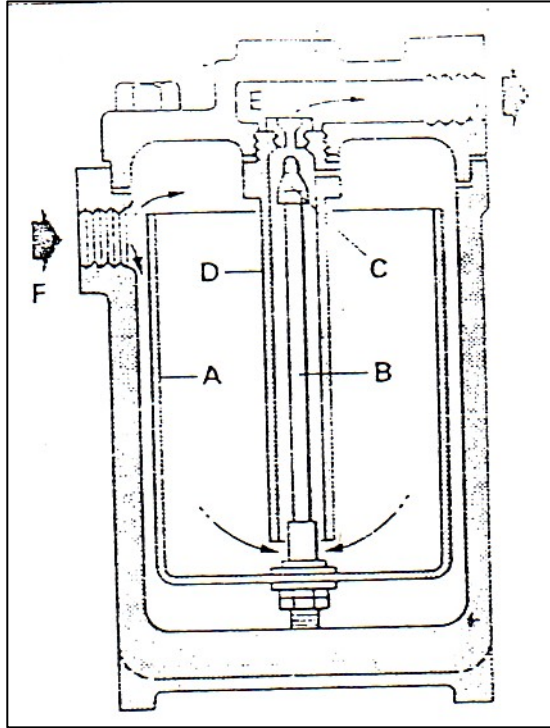
Tiene la principal desventaja de que puede ser dañada por golpes de ariete. Este tipo de trampas puede ser afectado por heladas y debe ser aislado, si se encuentra a la intemperie o en lugares donde la temperatura esté por debajo de cero. La principal desventaja común en todos los tipos de trampas mecánicas es que el tamaño de orificio de descarga está en función de la fuerza del flotador, por lo que la presión de vapor que se opone.

2.1.2.3 Tipo de balde abierto

Un balde abierto por su parte superior puede sustituir a la boya para actuar sobre la válvula.

En la figura 45, se muestra el esquema de una trampa mecánica de balde abierto, cuyo funcionamiento se ilustra.

Figura 45. Trampa mecánica de balde abierto (cubeta abierta)



Fuente: Spirax Sarco. **Las trampas para vapor y la eliminación de condensado.** Pág. 30

Unida al fondo del balde "A" va una varilla "B" a la que se sujeta la válvula "C". Varilla y válvula están en el interior de un tubo "D", abierto por su parte inferior. En la parte superior de este tubo, va el asiento de la válvula E.

Cuando el condensado entra por "F", en primer lugar, llena el cuerpo de la trampa por el exterior del balde. Éste flota y la válvula se apoya en su asiento. Si sigue entrando condensado en la trampa, empieza a llenar el balde. Cuando esta suficientemente lleno, el peso interior hace que el balde baje hasta el fondo de la trampa y abra la válvula. La presión de vapor empuja el agua, a través del tubo central, hasta que el balde pueda volver a flotar.

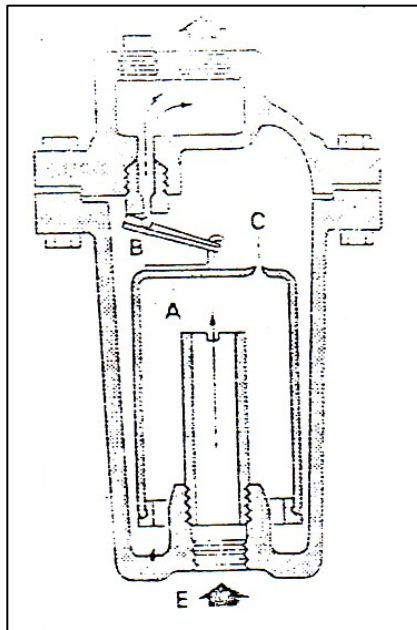
Luego se repite el ciclo; esta trampa tiene descarga intermitente. Entre sus principales ventajas se encuentran, que debido a que son robustas, pueden emplearse para altas presiones y para vapor sobrecalentado. Soportan golpes de ariete y condensados corrosivos.

Entre las principales desventajas, se encuentran que sólo puede descargar en una gama de presión determinada. Estas trampas son grandes y pesadas en comparación con su capacidad. Este tipo de trampa se puede dañar por heladas, y el cuerpo se puede deteriorar si queda lleno y a la intemperie.

2.1.2.4 Tipo de balde invertido o cubeta invertida.

Este tipo de trampa, que se ilustra en la siguiente figura, es más utilizada que las trampas de balde abierto.

Figura 46. Trampa mecánica de cubeta invertida



Fuente: Spirax Sarco. **Las trampas para vapor y la eliminación de condensado.** Pág. 32

En este tipo, la fuerza de operación en el balde lo hace flotar en el condensado que llena la trampa. Cuando le falta vapor a la planta, el balde “A” está en la parte inferior de la trampa y la válvula “B” esta totalmente abierta. El aire descarga, a través de un pequeño orificio “C”, en la parte superior del balde, entonces el condensado entra en la trampa por “E” y el nivel de agua aumenta, tanto en el interior como en el exterior del balde. Éste permanece en la parte inferior con lo que el agua puede pasar a través de la válvula abierta “B”. Cuando el vapor llega a la trampa, entra en el balde y lo hace flotar, cerrando la válvula “B”, mediante un sistema de palanca. El vapor contenido en el balde escapa lentamente por el orificio “C”, y al mismo tiempo va condensado. Si sigue llegando vapor, la trampa permanece cerrada, pero si llega más condensado, puede suceder que el balde ya no puede flotar, vuelve a su posición inferior, la válvula abre y el condensado sale. También este tipo de trampa es de descarga intermitente.

Ventajas del tipo de balde invertido: la trampa de balde invertido se puede fabricar para que resista presiones y para funcionamiento con vapor sobrecalentado; además resiste golpes de ariete y es difícil que se dañe.

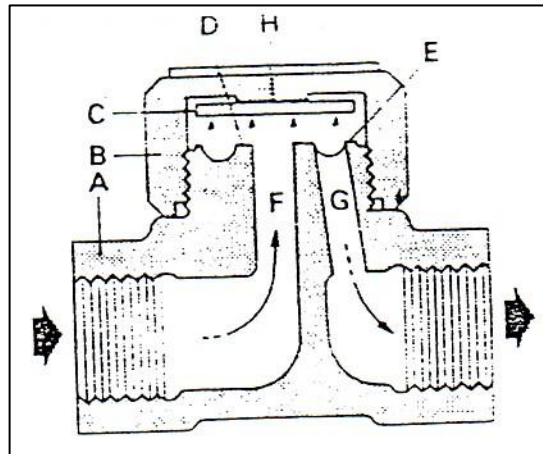
Entre las principales desventajas, se tiene que el tamaño del agujero practicado en la parte superior del balde implica que se elimine el aire muy lentamente. Siempre debe quedar suficiente agua para que se efectuó un sello adecuado.

2.1.3 Grupo Termodinámico

Este grupo trabaja por la diferencia de velocidad entre el vapor y el condensado. La válvula consiste en un disco que cierra con la alta velocidad del revaporizado, y abre con la baja velocidad del condensado.

En la figura 47, que se presenta a continuación, se presenta la construcción y funcionamiento de una trampa termodinámica.

Figura 47. Trampa termodinámica



Fuente: Spirax Sarco. **Las trampas para vapor y la eliminación de condensado.** Pág. 34

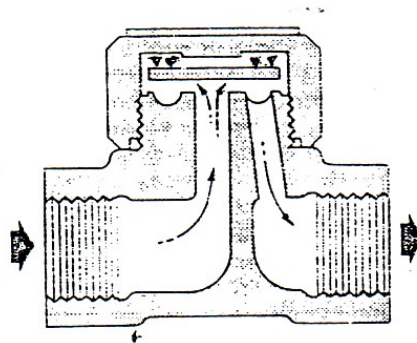
La construcción de esta trampa es extraordinariamente sencilla. La trampa consiste en un cuerpo "A", una tapa "B" y un disco libre "C". Este disco es la única pieza móvil de la trampa. En la parte superior del cuerpo, se mecaniza una hendidura anular con unos resaltes interior "D" y exterior "E", que constituyen el asiento del disco. Las caras del asiento y el disco se mecanizan planas, con el fin de que este asiente sobre el anillo interior y el exterior, al mismo tiempo. Por esta acción, la entrada "F" queda aislada de la salida "G", lo cual es esencial si se quiere lograr un cierre perfecto.

En el arranque, el aire y el condensado frío alcanzan la trampa y pasan a través del orificio de entrada "F". El disco "C" es empujado hacia arriba, hasta que se apoya el resalte "H" de la tapa. El aire y el condensado fluyen radialmente hacia el exterior, a través del espacio comprendido entre los anillos "D" y "E", y luego descargan por el orificio "G".

La temperatura del condensado aumenta en forma gradual, y al descargar libremente se forma cierta cantidad de revaporizado. La mezcla resultante fluye por la parte inferior del disco, y ya que el vapor tienen un volumen muy superior al del peso correspondiente de condensado, la velocidad de salida aumenta, a medida que la temperatura del condensado aumenta. Para comprender lo que sucede a continuación, hay que recordar el teorema de Bernoulli. Éste establece que en un fluido en movimiento la presión total es la misma en todos sus puntos. Esta presión total es la suma de la presión estática y de la presión dinámica. La estática es la que se puede medir con un manómetro, mientras la dinámica es la que sería producida por las partículas del fluido, si de golpe se les parase mediante un obstáculo. La presión dinámica aumenta cuando lo hace la velocidad de las partículas.

Si se aplica este principio a la trampa termodinámica, se establece que la presión dinámica del revaporizado y condensado fluyen debajo del disco aumenta, a medida que su velocidad aumenta. En vista de que la presión total debe permanecer constante, la presión estática disminuye al aumentar la dinámica. Como resultado de esto, el disco empieza a descender y se acerca a los anillos del asiento. Al bajar, el revaporizado puede pasar entre el disco y la tapa de la trampa, y entra en la cámara de control, como se muestra en la figura 48 que se muestra a continuación.

Figura 48. Acción de cierre de una trampa termodinámica



Fuente: Spirax Sarco. **Las trampas para vapor y la eliminación de condensado.** Pág. 34

Este revaporizado, que se forma en la parte superior del disco, tiende a ejercer una fuerza y una presión estática sobre la totalidad del disco. Cuando esta presión es suficiente, para vencer la del fluido a la entrada, que actúa sólo en la parte central del disco, éste cae definitivamente y se apoya en los anillos asiento.

El disco permanece firmemente apretado contra su asiento, hasta que se condensa el revaporizado de la cámara de control, debido a la transferencia de calor a la atmósfera y al cuerpo de la trampa. Con esto, disminuye la presión que actúa en la parte superior del disco y permite que sea empujado de nuevo por la presión de entrada.

Si no hay condensado que descargar, una pequeña cantidad de vapor vivo entrará en la cámara de control y volverá a cerrar el disco muy rápidamente.

Las principales ventajas de estas trampas radican, en que operan dentro de un margen de presiones sin ajuste o cambio del tamaño de la válvula. Son compactas, simples y tienen gran capacidad de descarga de condensado. No se dañan con golpes de ariete, trabajan con vapor sobrecalentado y altas presiones, y no se averían con las heladas.

Las principales desventajas de este tipo de trampa se encuentran en que no trabajan con presión de entrada baja o presión de descarga elevada. Si la trampa esta expuesta a temperaturas ambientes muy bajas, el revaporizado de la cámara de control obviamente condensará más rápidamente de lo normal, tendrá una apertura y cierre del disco mas frecuente, lo que ocasionará un excesivo desgaste.

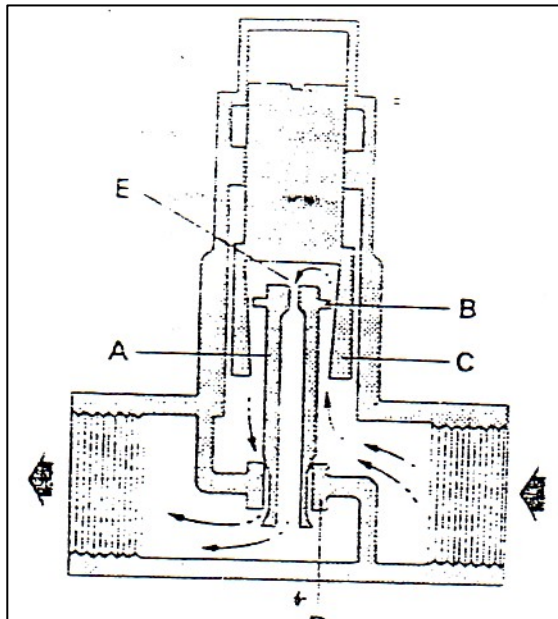
2.1.4 Otros tipos de trampas de vapor

Este grupo reúne las trampas que no pueden ser situadas en una de las anteriores categorías.

2.1.4.1 Trampa de impulso

La trampa de impulso típica es la de la figura 49, que se presenta a continuación.

Figura 49. Trampa de impulso



Fuente: Spirax Sarco. **Las trampas para vapor y la eliminación de condensado.** Pág. 34

La válvula principal "A" forma parte de un cilindro hueco, que lleva un resalte delgado "B". El cilindro puede moverse arriba y abajo, dentro de una guía "C". Cuando el equipo está parado, la válvula "A" permanece sobre su asiento "D". En el arranque, primero el aire y después el condensado frío llegan a la trampa, y la presión que ejercen sobre "B" hace subir la válvula.

Parte del condensado pasa por el espacio comprendido entre “B” y su guía “C” y llega a la cámara de salida a través de “E”. La presión, en esta parte superior del pistón, disminuye debido al aumento de velocidad del condensado, con lo cual es algo menor que la de la parte inferior, y la válvula permanece abierta. Cuando el condensado se aproxima a la temperatura del vapor, una parte del mismo revaporiza al pasar por el estrechamiento, que hay entre “B” y “C”. Este revaporizado se acumula en la cámara de la parte superior del disco e intenta salir por el orificio “E”.

Como el revaporizado tiene un volumen considerablemente mayor que la masa correspondiente de condensado, tarda en pasar a través de “E” y empieza a generar una sobrepresión en la cámara, y fuerza al pistón hacia abajo. El caudal de condensado se reduce, debido a la forma cónica de la guía, con lo que la rampa permanece en una posición que permite la descarga de condensado, a medida que va llegando. Cuando el vapor llega a la trampa, aumenta aun más la presión en la parte superior del pistón, con lo cual la válvula cierra totalmente. La trampa no da un cierre hermético, ya que siempre puede pasar algo de vapor a través del orificio “E”.

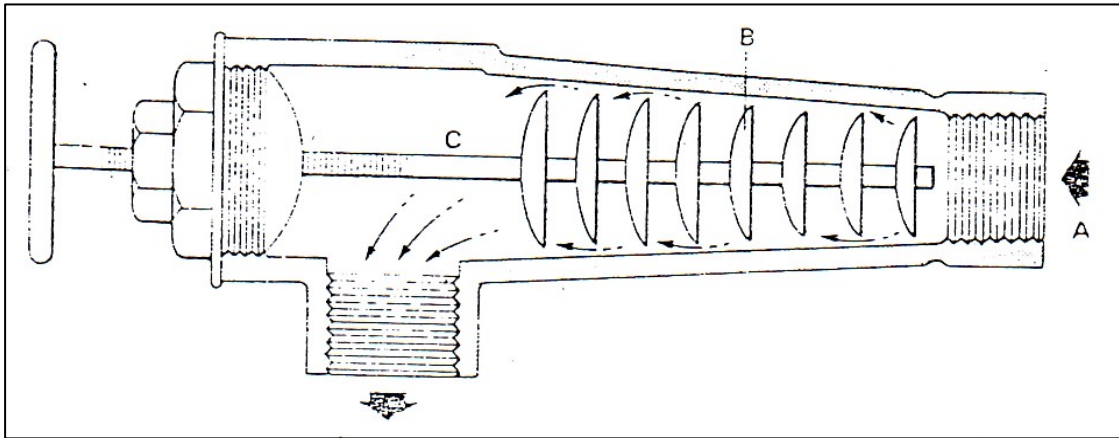
Esta trampa tiene la ventaja de que tiene una buena capacidad de descarga con un tamaño relativamente pequeño. Puede trabajar en un amplio rango de presiones, y se puede utilizar para altas presiones con vapor sobrecalentado y elimina aire con facilidad.

Las principales desventajas de esta trampa son que primero no cierra herméticamente, por lo que siempre hay fuga de vapor. Son afectadas por la suciedad y no pueden trabajar con una contrapresión mayor de un 40% de la de entrada.

2.1.4.2 Tipo laberinto

La figura 50, que se presenta a continuación, ilustra el funcionamiento de una trampa de este tipo.

Figura 50. Trampa de laberinto



Fuente: Spirax Sarco. **Las trampas para vapor y la eliminación de condensado.** Pág. 34

El condensado entra por "A" y encuentra un número de deflectores ajustables "B", que aumentan de diámetro en el sentido de entrada a salida. El condensado pierde presión gradualmente, al pasar por cada una de las restricciones. Como consecuencia, parte del condensado revaporiza en cada una de las cámaras generadas por los baffles, con lo que el flujo de condensado se frena, e impide la salida de vapor. Las placas deflectoras pueden ser variadas de posición, ajustando el eje "C".

Si el espacio que se deja entre los deflectores y el cuerpo de la trampa es importante, pasará condensado y vapor. Si las tolerancias, por el contrario, son muy pequeñas sólo descargará condensado frío.

La principal ventaja de esta trampa es que tiene un tamaño pequeño, comparado con su capacidad de descarga y no presenta averías al no tener partes móviles.

Entre las desventajas, se encuentran que debe ser ajustada manualmente, cuando hay variaciones importantes de la presión o de la carga de condensado. Si el ajuste no es el adecuado, se puede producir pérdida de vapor o anegamiento por condensado.

2.1.4.3 Placa de orificio

Consiste en un agujero fijo dimensionado para el paso del condensado, que, teóricamente, se va a generar en el equipo o planta por drenar.

Como ventajas, se puede mencionar que no requiere mantenimiento al no tener partes móviles, y si se les incorpora un filtro se evita su obturación. Son bastante pequeñas comparadas con su capacidad de drenaje y no tienen pérdidas por radiación.

Como desventajas, se puede mencionar que al tener un diámetro fijo de agujero, el cual es muy pequeño, el aire sólo se descarga muy lentamente en el arranque. Aun con filtros la suciedad o sedimentos, pueden bloquear el orificio. Si no llega condensado, se perderá vapor a través del orificio.

Como en general las cargas máximas de condensado llegan a representar de 3 a 4 veces la carga normal, es lógico que los orificios de diámetro fijo causen anegamiento del espacio dedicado al vapor, cuando tales condiciones se presentan.

2.2 Selección de una trampa de vapor

Muchos piensan que cualquier trampa de vapor que se use está bien, en tanto que las condiciones de operación estén dentro del campo de presiones y capacidades de descarga de la trampa. Sin embargo, no hay que contentarse con que la trampa trabaje moderadamente bien, sino que hay que alcanzar la máxima eficiencia en todos los equipos que usan vapor. Esto significa que se debe seleccionar una trampa para cada aplicación concreta.

- A. ¿Se debe descargar el condensado tan pronto como se forma?
- B. ¿La línea del retorno de condensado está a nivel superior que el equipo que se purga?
- C. ¿Hay riegos de golpes de ariete en la línea?
- D. ¿Hay vibraciones o movimientos excesivos en el equipo?
- E. ¿Contiene el condensado sustancias corrosivas?
- F. ¿Está la trampa instalada a la intemperie?
- G. ¿Se utiliza vapor sobrecalentado?
- H. ¿Hay cantidades importantes de aire?
- I. ¿Hay posibilidades de bloqueo por vapor?
- J. ¿Comprende la instalación diversas unidades calentadas con vapor?

A. Anegamiento por condensado

En la mayoría de los equipos, es indispensable drenar el condensado tan pronto como se forma. Debido a que el condensado representa una barrera para la transferencia de calor y reduce la superficie de calefacción, y con ello la eficiencia de los equipos.

Si bien la entalpía del agua saturada del condensado es utilizable, se obtienen una transferencia de calor más importante, si únicamente el vapor está en contacto con la superficie de transferencia de calor.

Las trampas del tipo mecánico son las idóneas para aplicaciones que requieran una rápida eliminación del condensado. Las del tipo termostático no drenan el condensado, hasta que este se ha enfriado una cantidad de grados por debajo de la temperatura del vapor, con lo que se produce cierto anegamiento del espacio destinado al vapor.

B. Elevación del condensado

La velocidad, a la cual la trampa puede descargar el condensado, depende del tamaño del orificio de la válvula y de la presión diferencial o diferencia de presión, entre la entrada y la salida de la trampa. Si una trampa descarga a la atmósfera, la presión diferencial, a través de la misma, es igual a la presión de entrada.

Lo mismo sucede si la trampa descarga en una línea de retorno situada a nivel inferior, y permite que el condensado llegue por gravedad al tanque de alimentación de la caldera. Aunque este caso muy pocas veces sucede, debido a que los tanques de alimentación de la caldera se encuentran a un nivel superior de la trampa.

En estos casos, el condensado debe ser impulsado, mediante una bomba o por la propia presión del vapor, hasta su punto final. Por cada 0.11 bar (11KPa) de presión de vapor en la trampa, el condensado puede ser elevado a una altura aproximada de 1m. En el sistema inglés, por cada PSI de presión en la trampa, se puede elevar a una altura de aproximadamente 2.5 pies.

Para elevar el condensado, la trampa debe ser de un tipo, en la cual todo el cuerpo esté sometido a la presión total del vapor. Todas las trampas de balde y la mayor parte de las habituales en el mercado son de este tipo. Existe desventaja, al elevar el condensado por este método. En primer lugar, no siempre se dispondrá de la presión de vapor necesaria a la entrada de la trampa.

Si por ejemplo, la presión normal de operación es de 1.65 bar (165 KPa), teóricamente es posible elevar el condensado a 15 m. Sin embargo, en el arranque, la presión de vapor permanecerá durante un cierto tiempo a un valor próximo a 0 bar o incluso por debajo hasta que esta presión aumenta, el condensado no puede ser drenado y se acumulara en el espacio destinado al vapor. Este hecho provocará un periodo de calentamiento mas largo. El condensado, además, evitará la salida de aire a través de la trampa, con lo cual el problema empeorará.

Si el equipo tienen control de temperatura, la acción de este control puede reducir la presión del vapor por debajo del valor, al cual la elevación de condensado se efectuaría correctamente, hasta la línea de retorno.

C. Golpes de ariete

Tan pronto como el vapor sale de la caldera, se inicia la condensación en las tuberías, debido a las pérdidas de calor. Esta condensación es particularmente importante en el arranque, cuando el sistema está frío. Esta condición se estudió anteriormente cuando se explicó que pequeñas gotas se van depositando en el fondo de la tubería, y pueden formar, eventualmente, una barrera compacta que es arrastrada a gran velocidad a lo largo de la tubería.

Cuando este condensado encuentra un obstáculo, como un cambio de dirección en la tubería, éste será frenado súbitamente. La energía cinética del condensado a alta velocidad se convierte en energía de presión, que es absorbida por la tubería. Si la velocidad es muy alta o el peso del condensado importante, la cantidad de energía liberada puede ser suficiente, para romper algún elemento de la instalación. Incluso con la baja velocidad y poco peso, el ruido creado en el sistema por el impacto puede provocar molestias importantes

La incidencia de los golpes de ariete será mayor, si se forman bolsas de condensado en los puntos bajos del sistema. Es aconsejable instalar una trampa robusta como la termodinámica, la de balde invertido o la bimetalica, cuando hay riesgo de golpes de ariete. Los golpes de ariete se pueden presentar también en el sistema de retorno de condensados.

D. Vibraciones

La mayor parte de los procesos y equipos de calefacción no están sujetos a vibraciones excesivas, con lo que este factor raramente tiene influencia en la selección de la trampa. Sin embargo, esto no es así en algunas aplicaciones, como bombas, martillos accionados con vapor, equipos instalados en barcos y otros. Indudablemente la mejor trampa para estas condiciones es la del tipo termodinámica.

En la trampa termodinámica, la única parte móvil es el disco de acero inoxidable, que no se ve afectado ni siquiera por vibraciones severas. Si el movimiento no es excesivo, también se pueden utilizar trampas termostáticas de expansión líquida. Este tipo requiere una cierta longitud de enfriamiento entre trampa y punto de drenaje, para que el condensado se enfríe fuera del espacio destinado al vapor.

E. Condensado corrosivo

El agua no es suficientemente pura para poderla usar directamente en la alimentación de una caldera, sin algún tipo de tratamiento previo. No es extraño, por tanto, que pueda contener sólidos disueltos, que se pueden precipitar formando incrustaciones en la superficie de intercambio de la caldera, y además, que contenga gases, como el oxígeno y el dióxido de carbono.

Estos gases son arrastrados por el vapor hasta las zonas de intercambio térmico de la planta, donde permanecen al condensar el vapor. Cuando la concentración de gases aumenta, éstos pueden disolverse en el condensado, y lo convierten en corrosivo.

Si la caldera produce arrastres de agua e impurezas sólidas, éstas se verán introducidas en la instalación y consecuentemente irán a parar al condensado. Cuando se habla de tratamiento del agua, no se debe tender únicamente a obtener condiciones satisfactorias para la caldera, sino se debe lograr también que no sean atacadas las tuberías de retorno de condensados.

Otras fuentes de corrosión tienen relación con procesos, en los que el vapor y condensado pueden entrar en contacto con la sustancia que se va a calentar.

F. Heladas

El condensado de las tuberías que están instaladas en el exterior se puede helar en invierno, cuando se corta el vapor. Las trampas, en estos casos, pueden sufrir las consecuencias. Quizá la mejor solución son las trampas termodinámicas.

G. Sobrecalentamiento

En relación con el efecto del vapor sobrecalentado sobre las trampas, hay dos puntos que se deben tomar en cuenta: en primer lugar, que las temperaturas de sobrecalentamiento pueden ser muy altas, y en segundo, que estas temperaturas no guardan ninguna relación con la presión del vapor. Las temperaturas de vapor sobrecalentado, en general, son muy altas, porque este vapor se produce casi siempre para utilizarlo en turbinas o máquinas para generar potencia.

Las trampas que se usan con vapor sobrecalentado se construyen con materiales que resisten, tanto la presión como la temperatura. Las trampas termodinámicas y las bimetálicas son las que se emplean normalmente. Con las trampas de balde invertido, existe el riesgo de que el sellado de agua alrededor del lado abierto del balde se evapore con el sobrecalentamiento.

H. Bloqueo por aire

En los periodos de paro, el sistema de vapor se llena de aire. Además, durante el funcionamiento, el vapor arrastra consigo aire e incondensables. Ya se menciona que la presencia de aire agrava los problemas de corrosivo y que, además, puede afectar negativamente el rendimiento del equipo. Otro problema, que puede y debe ser evitado, es la tendencia de algún tipo de trampa que va a quedar bloqueada por aire. Cuando se arranca una planta, todo el aire que ha llenado el sistema durante la parada debe ser eliminado, lo más rápidamente posible. El vapor empuja al aire hacia las trampas, donde es descargado. Por esta razón, si la trampa no elimina el aire fácilmente, se debe solucionar con alguna instalación especial.

Todas las trampas del tipo termostático están completamente abiertas cuando están frías, y permiten que el aire descargue libremente, tanto en los arranques, como cuando llega aire a la trampa en marcha normal. La instalación de un eliminador de aire termostático en el interior de la trampa de flotador garantiza que también éstas se comportarán correctamente en presencia de aire o incondensables. Si bien las trampas de balde invertido nunca quedan totalmente bloqueadas por aire, lo dejan escapar muy lentamente, debido al pequeño tamaño que necesariamente debe tener el agujero de ventilación del balde.

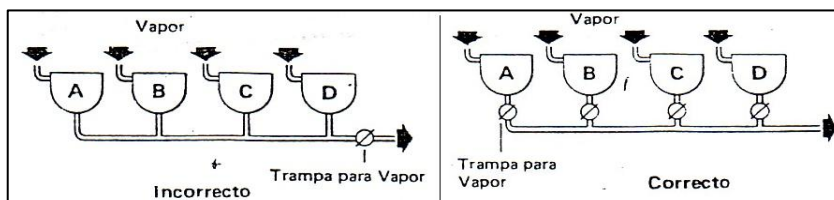
I. Bloqueo por vapor

El bloqueo de las trampas por vapor es una causa frecuente de la operación ineficaz de un equipo y, sin embargo, es un fenómeno bastante ignorado. Para evitar el bloqueo por vapor, las trampas de vapor deben ser instaladas lo más cerca del equipo y a un nivel inferior. Se debe evitar a toda costa el uso de tuberías demasiado largas desde el equipo, hasta el sistema de trampeo.

J. Trampeo en grupo

Jamás se debe seleccionar una trampa para un grupo de equipos. Siempre se debe instalar una trampa por cada equipo, como se ilustra en la figura 51.

Figura 51. Trampeo en grupo incorrecto- trampeo individual correcto



Fuente: Spirax Sarco. **Instalación correcta de las trampas de vapor.** Pág. 55

A continuación, se presenta la tabla VIII, en donde se presenta una guía para la selección de una trampa de vapor para aplicaciones específicas.

Tabla VIII. Tabla de selección de trampas de vapor

APLICACION	FT (Flotador/ Termostático)	FT/TV/SLR (Flotador Termostático con Dispositivo Antibloqueo Por Vapor)	FT/SLR (Flotador con Dispositivo Antibloqueo por Vapor)	TD Termodinámica	BPT (Termostática de presión Balanceada)	SM (Bimetálica)	Termotón (Expansión de Líquidos)	IB Balde Invertido
EQUIPO PARA COCINA								
Marmitas de Cocción Fijas	A	B	B ¹	B ¹	B			
Marmitas de Cocción Basculante		A	B		B			
Marmitas de Cocción de Pedestal	B	B	B		A ²			
Hornos de Vapor					A ²			
Planchas	B	B	B		A ²			
CALENTAMIENTO DE COMBUSTIBLE								
Tanques de Almacenamiento de Aceite Comb				A				B ¹
Calentadores de Línea	A							B ¹
Calentadores de Flujo Saliente	A							B ¹
Líneas de Tracing y Tubos Enchaquetados				B	A ³	B	B	
EQUIPOS PARA HOSPITALES								
Autoclaves y Esterilizadores	B	B	B ¹		A			B
SECADORES INDUSTRIALES								
Serpentines Secadores (continuos)	A				B	B		B
Serpentines Secadores (tipo red)					B	A		B ¹
Cilindros Secadores	B	A	B ¹					B ¹
Secadores de Tubería de Varios Niveles	A				B			B ¹
Máquinas de Apresto de Cildro Múltiples	B	A	B ¹					B ¹
EQUIPOS PARA LAVANDERIAS								
Planchadoras de Trajes	B			A				B
Planchas y Calandrias	B	A	B ¹	B ¹	B ¹			B ¹
Unidades Recuperadoras de Solventes	A			B				B
Secadoras Rotativas	A	B	B ¹					B ¹
PRENSAS								
Prensas de Platos Múltiples (conexiones en paralelo)	B			A				B
Prensas de Plato Múltiples (conexiones en serie)				A ¹				B ¹
Prensas para neumáticos	B			A	B			B
EQUIPOS PARA PROCESOS								
Marmitas de Cocción Fijas	A	B	B ¹	B ¹	B			
Marmitas de Cocción Basculante		A	B ¹					B ¹
Ollas Cervceras	A	B	B					B ¹
Digestores	A			B ¹				B ¹
Evaporadores	A	B	B ¹					
Planchas Calientes				B	A			
Retortas	A							B ¹
Tanques de Almacenamiento				A ¹				B ¹
Vulcanizadores	B			A				B ¹
CALENTAMIENTO AMBIENTAL								
Intercambiadores de Carcaza y Tubos	A	B	B ¹					B ¹
Serpentines de Calentamiento	A	B	B ¹					B ¹
Paneles Radiantes	A	B	B ¹	B ¹				B ¹
CALENTADORES DE CONVECCION Y RADIADORES								
Serpentines Suspendingos	B				A	B		B ¹
TUBERIAS DE DISTRIBUCION								
Tranos Horizontales	B			A	B ²			B
Separadores	A			B	B ²			B
Extremos de Tuberías	B			A	B ²			B ¹
Drenajes de Tuberías Ceradas (para protección por congelamiento)					B ³		A	
TANQUES Y RECIPIENTES								
Tanques de Procesos (descarga por arriba)	B			A	B			B
Tines de Proceso								
Tanques de Proceso (descarga por debajo)	A			B	B			B
Tanques Pequeños Calentados por Serpentines (de calentamiento rápido)	A				B			B
Tanques Pequeños Calentados por Serpentines (de calentamiento lento)							A	

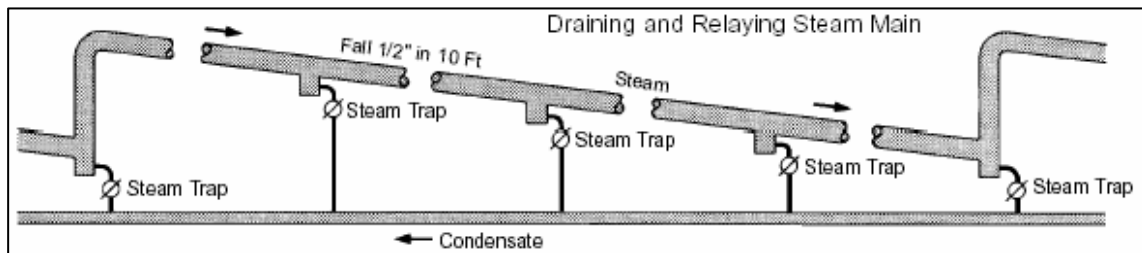
1. Con Eliminador de Aire en Paralelo.
2. Al Extremos de Una Pierna de Enfriamiento longitud mínima 3 pies (1m).
3. Use Trampas de Tracing especiales que ofrezcan la opción de descarga a una Temperatura Fija.

Fuente: Spirax Sarco. **Design of fluid systems, steam utilization.** Pág. 43

2.3 Instalación de las trampas de vapor

Primero, en todo circuito de vapor, las tuberías deberán llevar una pendiente en la dirección del flujo, para evitar la acumulación de condensado y se deben instalar trampas a intervalos de 30 m (100 ft), y la tubería de retorno de condensado también deberá llevar la misma pendiente de 1 al 2% como máximo. Esta disposición se ilustra en la figura 52, que se presenta a continuación.

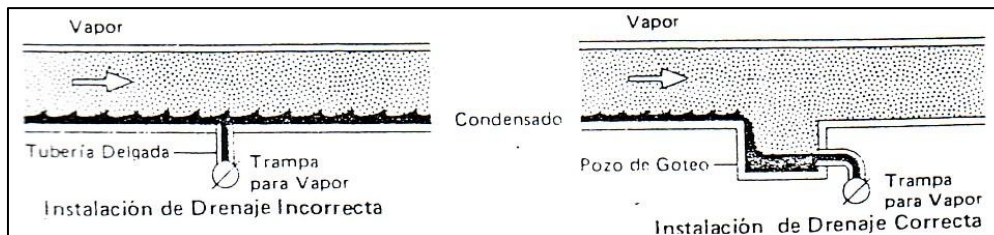
Figura 52. Drenado de tuberías.



Fuente: Spirax Sarco. **Design of fluid systems, hook-ups.** Pág. 11

Como se ve en la figura anterior, es importante la instalación de un vaso colector en la tubería, ya que debido a que el condensado viaja en la parte inferior de la tubería, y por la velocidad a la que viaja, de no instalar un vaso colector que tenga como mínimo el diámetro de la tubería, el condensado pasa de largo y no es captado para su drenado por parte de la trampa. Esto último se ilustra en la figura 53, que se presenta a continuación.

Figura 53. Instalación de punto de drenaje.



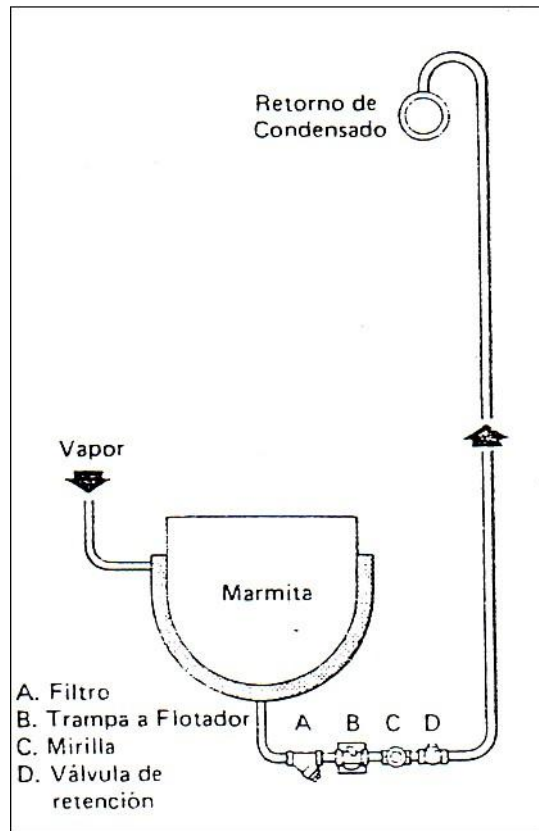
Fuente: Spirax Sarco. **Instalación correcta de trampas de vapor.** Pág. 3

El sistema de trampeo de vapor está compuesto de los siguientes elementos en orden de instalación:

- a) Válvula de corte, a la salida del equipo, por si hay que realizarle mantenimiento al sistema de trampeo.
- b) Filtro: para evitar que partículas sólidas pasen hasta la trampa y puedan dañar o afectar el funcionamiento de la trampa, excepto las trampas que lo traen incorporado.
- c) Trampa: es para permitir la descarga del condensado de los equipos, sin permitir el escape de vapor vivo.
- d) Mirilla: es instalada en sistemas de trampeo ubicados a alturas bajas, y sirven para observar la descarga de condensado por parte de la trampa. Un excesivo burbujeo suele indicar que la trampa no sella herméticamente y permite la descarga de vapor.
- e) La válvula de retención o cheque: es instalada para evitar contraflujo de condensado a la trampa en sistemas de alta presión, y cuando el condensado ha de ser elevado a la tubería de retorno.
- f) Válvula de corte: en sistemas en donde puede haber contraflujo de condensado, y se necesita hacer algún trabajo de mantenimiento a la válvula de retención.

A continuación en la figura 54, se muestra la instalación típica de un sistema de trampeo de vapor en una marmita.

Figura 54. Instalación de una trampa de vapor en una marmita al pie de elevación.



Fuente: Spirax Sarco. **Instalación correcta de las trampas de vapor.** Pág. 10

Se observa en la figura que no fueron instaladas válvulas de corte, lo que también resulta correcto.

En los sistemas de vapor, las trampas deben ser instaladas:

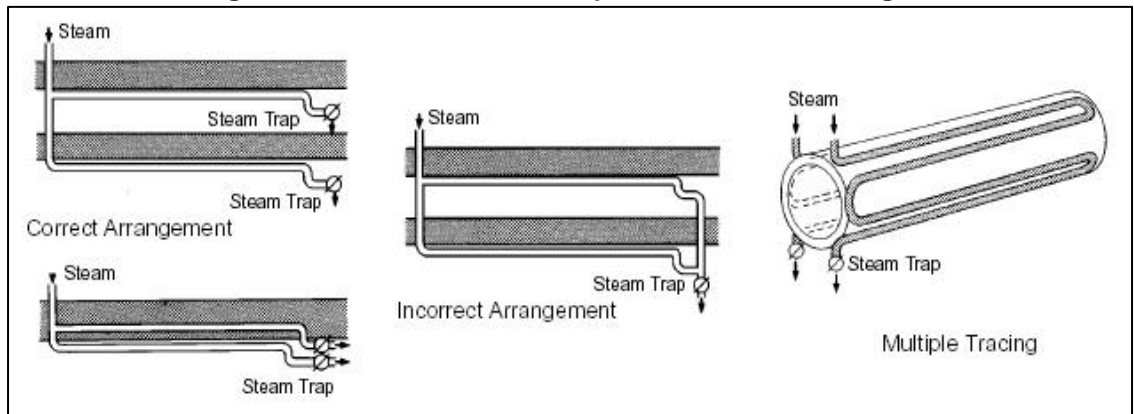
- Antes de las válvulas de control de presión y temperatura.
- Antes de las juntas de expansión.
- En la parte baja de todas las tuberías de elevación.
- Al finar de las tuberías principales de entrega de vapor.
- En los puntos bajos del sistema.
- En puntos intermedios de tuberías muy largas, a distancias de 30 m.

Como recomendaciones generales de una instalación de trampas de vapor, se tienen las siguientes:

1. Debe utilizar una trampa para cada equipo que use vapor.
2. No instale una trampa para un grupo de unidades.
3. Instale uniones universales a cada lado de la trampa y a igual distancia, para facilitar su mantenimiento.
4. Las tuberías horizontales deben tener una leve inclinación hacia la trampa, para evitar un sello de vapor.
5. Síganse los diagramas típicos de instalación de las trampas.

La figura 55 muestra la correcta instalación de trampas de vapor en tuberías de *tracing* (serpentines o enchaquetado de calentamiento de tuberías). Por cada serpentín, debe instalarse un sistema de trampeo de vapor, al igual que con los equipos de calentamiento por vapor; no es correcta la unión de varios equipos en una sola trampa, debido a que las tasas de condensación no son iguales, y se corre el riesgo de anegamiento de las tuberías de vapor.

Figura 55. Instalación de trampas en líneas de tracing

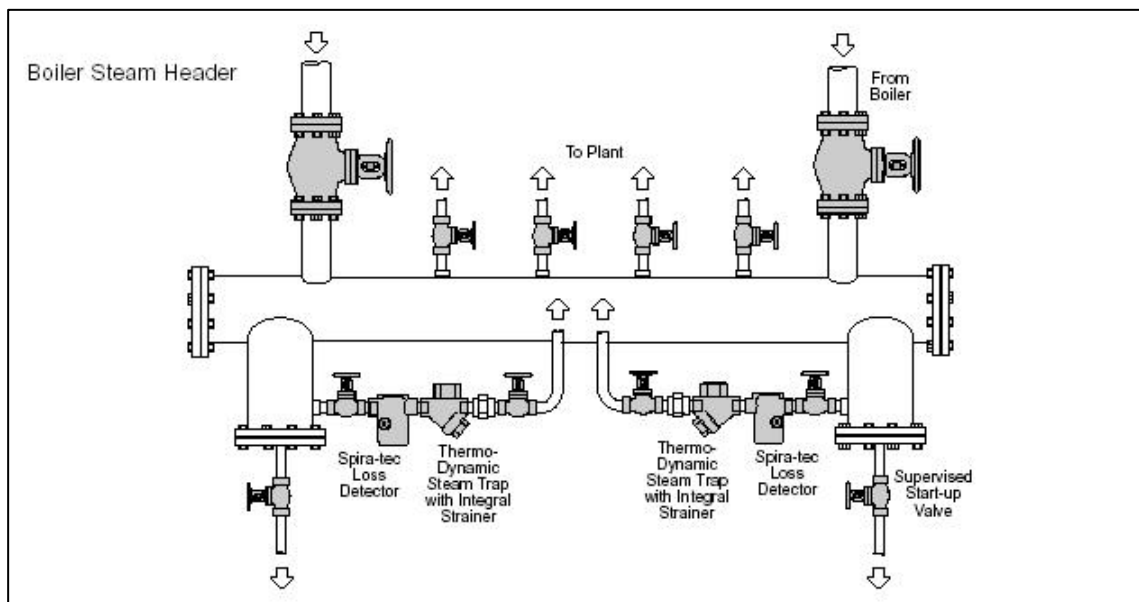


Fuente: Spirax Sarco. **Design of fluid systems, hook-ups.** Pág. 16

En la figura 56 que se muestra a continuación, se ilustra la instalación de una trampa de vapor en un manifold distribuidor de vapor (*Header*), que como se ve, se hace siempre un vaso colector de diámetro grande y longitud adecuada, para recolectar suciedad y drenarla por la parte inferior, que la aleja de la trampa.

Cuando son manifold de gran longitud, es buena práctica la instalación de un sistema de trampeo de vapor a cada extremo del manifold.

Figura 56. Instalación de una trampa de vapor en un manifold

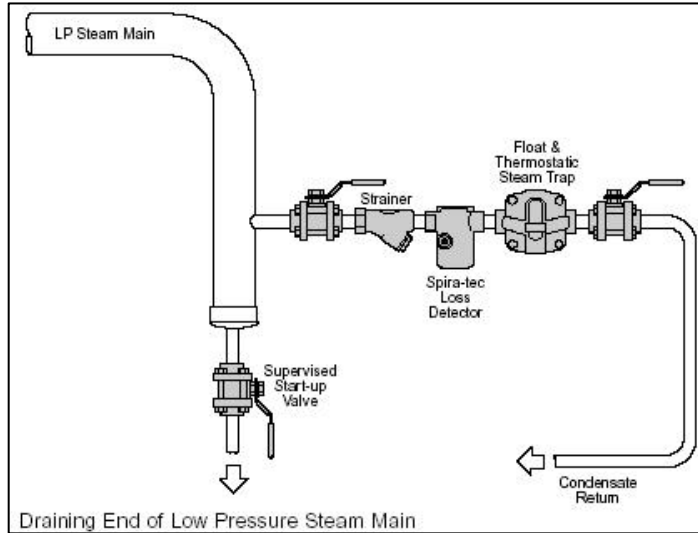


Fuente: Spirax Sarco. **Design of fluid systems, hook-ups.** Pág. 84

En los diagramas que han sido presentados, se muestra un detector de fugas de vapor (spira-tec loss detector), pero éste no es un accesorio indispensable en la instalación de un sistema de trampeo de vapor, ya que sólo sirve para indicar el estado de funcionamiento de la trampa, que aunque pueda ser de mucha utilidad, su costo limita su utilización.

En la figura 57, se muestra en drenado simple de un final de línea.

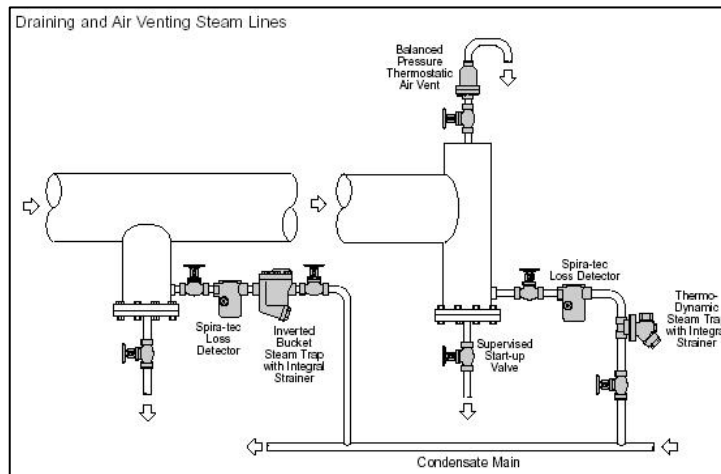
Figura 57. Instalación de trampas en finales de línea



Fuente: Spirax Sarco. **Design of fluid systems, hook-ups.** Pág. 84

En la figura 58, que se presenta a continuación, se ilustra la instalación de trampas de vapor en puntos intermedios de tubería y en final de línea; se agrega, además, un venteador termostático, como se recomienda en finales de línea.

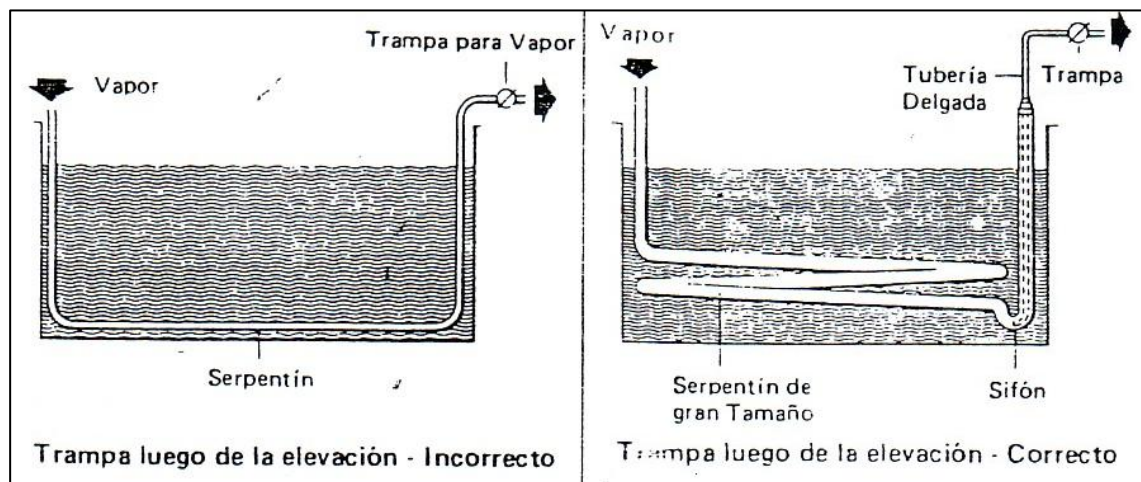
Figura 58. Instalación de trampas de vapor en tuberías



Fuente: Spirax Sarco. **Catálogo de productos.** Pág. 107

En la figura 59, que se presenta a continuación, se muestra la instalación de una trampa para vapor en equipos, en los que es imposible instalar la trampa por debajo del equipo. Para poder drenar adecuadamente el condensado, se instala un sifón en la parte inferior del serpentín calefactor, para que se produzca una acumulación de condensado en esta región y sea impulsado hacia la trampa.

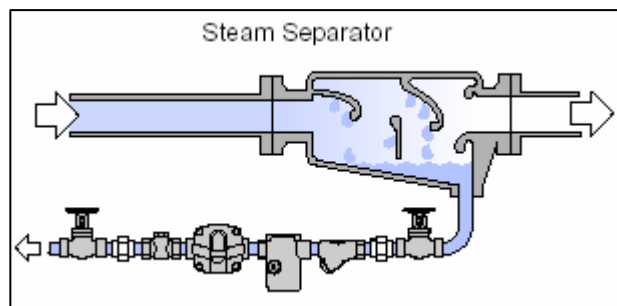
Figura 59. Trampa luego de la elevación



Fuente: Spirax Sarco. **Instalación correcta de trampas de vapor.** Pág. 49

En la figura 60, se muestra la instalación de un sistema de trampeo de vapor en un separador de vapor.

Figura 60. Instalación de trampas en un separador



Fuente: Spirax Sarco. **Design of fluid systems, steam utilization.** Pág. 15

2.4 Diagnóstico de las trampas de vapor

La inspección de cada trampa para vapor se realiza con la ayuda de un sensor de temperatura y una pistola de ultrasonido.

Con el equipo de temperatura, se confirma la operación de la trampa al sensar una temperatura elevada en su superficie. El diferencial de temperatura, entre la entrada y la salida de la trampa, permite obtener una idea parcial del diagnóstico de ésta.

Ahora se centrará en el diagnóstico de trampas de vapor por medio del análisis de temperaturas. Existen otros métodos de prueba, como el análisis ultrasónico, en el cual mediante el uso de una pistola ultrasónica se pueden localizar fugas de vapor, tanto en tuberías, como en trampas de vapor, para poder determinar claramente el número de descargas por minuto de la trampa de vapor. En realidad, el análisis de ultrasonido ofrece una confirmación clara del estado en que se encuentran las trampas de vapor.

En Guatemala actualmente no se cuenta con personal capacitado para hacer un estudio ultrasónico, debido a que se necesita bastante experiencia y familiarización con el sonido que emiten las trampas que fallan abiertas.

Solo se explicará el diagnóstico de las trampas de vapor mediante el uso de una simple pistola de termografía infrarroja, la cual mide la temperatura de un cuerpo caliente por la radiación que emite.

Para hacer este análisis, se deben medir temperaturas en tres puntos diferentes, de la siguiente manera:

- a) **Temperatura antes de la trampa.** Esta temperatura se mide en la tubería del serpentín calefactor, antes de que se conecte a la trampa, con el fin de medir la temperatura en este punto. En este punto, la temperatura debe ser igual a la temperatura de saturación del vapor a la presión a la que trabaja el equipo. Para un equipo que opera, por ejemplo, a una presión de 100 PSI (6.9 bar), la temperatura que se va a medir sería de 337.9 °F (170 °C).
- b) **Temperatura en el cuerpo de la trampa.** En el cuerpo de la trampa, la temperatura medida deberá ser aproximadamente igual a la temperatura de vapor saturado. Para el ejemplo considerado anteriormente, sería de aproximadamente 170 °C. en trampas termostáticas; la temperatura en el cuerpo de la trampa será aproximadamente 100 °C o un poco más alta, ya que ésta es la temperatura de calibración de apertura de la trampa y el condensado debe enfriarse hasta esta temperatura, antes de ser descargado. En los demás tipos de trampas, la temperatura será aproximadamente igual a la temperatura del vapor saturado.
- c) **Temperatura en la tubería de descarga de la trampa.** En la tubería de descarga de la trampa para vapor, lo que se tiene es únicamente condensado y, por lo tanto, la temperatura deberá ser aproximadamente de 110 °C; en la mayoría de trampas para vapor esta condición, se cumple y la temperatura es de alrededor de 100 °C, o por lo menos tiene una variación importante de temperatura respecto a la temperatura de saturación a la presión de vapor, a la cual funciona el equipo.

De acuerdo con el análisis de las temperaturas anteriores, se puede determinar el estado de funcionamiento de la trampa, que puede ser el diagnóstico de fallando cerrada o abierta, o bien de buen estado de funcionamiento.

En una trampa en funcionamiento, si la diferencia de temperaturas entre la entrada y la salida es muy ajustado o igual, existen posibilidades de que ésta se encuentre fugando vapor. Por el contrario, cuando el diferencial de temperatura es amplio, el diagnóstico tiende a ser de buen funcionamiento.

A continuación, se describe cada uno de los diagnósticos, que pueden ser entregados en el chequeo de trampas.

2.4.1 Trampa fallando abierta

Se clasifican fallando abiertas o con fuga las trampas, que permitan el paso de vapor vivo al sistema de retorno o a la atmósfera. Las temperaturas altas y muy similares entre la entrada y salida dan indicios de una falla abierta.

Las trampas generalmente fallan abiertas por la presencia de suciedad en los orificios de descarga, que no permiten hacer un buen sello. Sin embargo, existen purgadores instalados hace un buen tiempo, que tienen un mínimo de mantenimiento que fallan por desgaste en sus partes internas.

Aun trampas recién instaladas, pueden fallar si estas han sido mal dimensionadas y seleccionadas. Otra causa de falla abierta en las trampas se debe a una mala instalación. Los sentidos de flujo y las flechas que indican la posición a tierra (sobre todo en trampas flotador) requieren ser evaluados, antes de proceder al montaje de la trampa.

Las pérdidas de vapor, a través de las trampas, representan grandes desperdicios de energía. En muchas instalaciones, las pérdidas de vapor llegan a cabezales colectores de condensado, que son presurizados y limitan el funcionamiento de otras trampas que descargan al mismo cabezal.

Tanto por la parte operativa, como la de costos energéticos, los desperdicios de vapor deben ser corregidos, tan pronto como sea posible.

El cálculo de las pérdidas involucra un factor de pérdida de presión y un factor de pérdida del orificio. Estos dos factores correctores permiten obtener un valor de pérdida más real, ajustado a las condiciones de cada sitio en particular. Mas adelante, en el capítulo 4, se hará el análisis de pérdida por trampas fallando abiertas del sistema de vapor de la planta de saponificación.

Los valores base tomados por Spirax Sarco en cada evaluación son:

Factor de pérdida de presión: 30%

Factor de pérdida del orificio: 25%

El factor de presión determina el diferencial de presión a través del orificio, por el cual está ocurriendo la pérdida. Por ejemplo, con un factor de 30%, si la presión en la trampa es de 10 barg (145 psig) el diferencial obtenido sería de 3 barg (43.5 psig).

El factor de fricción, por su parte, contempla las restricciones de flujo que puede haber en el orificio por la revaporización y el efecto de cavitación que disminuyen su área efectiva.

Las pérdidas de vapor se calculan de acuerdo con las siguientes fórmulas :

$$B = \frac{\text{Diámetro del orificio}}{\text{Diámetro de la tubería}}$$

$$E = \frac{1}{(1 - B^4)^{1/2}}$$

$$\text{Dif. de presión} = \text{Presión} \times \left[\frac{100000 \times \text{Factor de presión}}{100} \right] \times 25.4$$

$$\frac{\text{Diferencial de presión}}{249.1}$$

$$\text{Pérdida de vapor} = 0.00751 \times E \times \text{Dia. Orificio}^2 \times \sqrt{\frac{\text{Diferencial de presión}}{\text{Volumen del vapor}}}$$

2.4.2 Trampa fallando cerrada

El uso del sensor de temperatura es determinante en el diagnóstico de una trampa fallando cerrada. Tan sólo se requiere confirmar que la trampa esté en funcionamiento y obtener su temperatura de superficie. Si la temperatura es muy baja, igual al ambiente, la trampa estará completamente bloqueada.

Normalmente las temperaturas de superficie en las trampas sobrepasan los 100 °C. Sólo con las trampas termostáticas se puede alcanzar temperaturas inferiores a los 100 °C, según el elemento termostático que tengan instalado o el ajuste que se les haya preseteado.

Generalmente, en las trampas termodinámicas (disco), flotador y balde invertido una temperatura inferior a 90°C representa un anegamiento parcial de la trampa que puede ser provocado por suciedad o daño de los interiores. Este tipo de diagnóstico se acompaña con una recomendación de mantenimiento que involucra limpieza de los interiores de la trampa, accesorios y tubería de drenaje.

Las trampas fallando cerradas retienen el condensado parcial o totalmente. Este anegamiento es crítico, tanto en equipos de intercambio de calor como en tuberías de distribución. En los equipos de intercambio, la retención del condensado afecta el rendimiento de la unidad retardando los tiempos de calentamiento, debido a que no es lo mismo calentar con vapor, que hacerlo con condensado; aparte de esto, se tienen problemas de corrosión, daño de equipos y empaquetaduras por golpe de ariete, etc. En las tuberías de distribución de vapor, el anegamiento de condensado provocado por una trampa bloqueada permite el arrastre de agua a los equipos de intercambio, que convierte el vapor en un medio ineficiente y peligroso para equipos y tuberías, por los riegos de erosión y golpe de ariete.

Para un programa de mantenimiento correctivo, una trampa bloqueada es tan importante como una trampa con fuga de vapor. El hecho de que una trampa bloqueada no desperdicie vapor, no justifica la postergación de su mantenimiento. La prioridad de corrección debe hacerse más bien por equipo, sección o área, que por la clasificación del diagnóstico.

2.4.3 Trampas fuera de servicio

Dentro de este grupo, se clasifican las trampas que en el momento de la inspección no se encontraban en funcionamiento, debido a que el equipo calefactor o línea de vapor no estaba operando.

Durante la inspección de las trampas, es muy frecuente encontrar equipos fuera de operación por motivos mismos del proceso o por mantenimiento que impiden realizar las pruebas de diagnóstico. Lo ideal de una inspección de trampas es abarcar el mayor número, para poder establecer un resultado global de las condiciones de los purgadores.

2.4.4 Trampas en buen estado

Como su nombre lo indica, este grupo clasifica a las trampas en buen estado, con los diferenciales de temperatura, de acuerdo con presiones de operación y con los ciclos de descarga dentro de los rangos estipulados para cada tipo de trampa.

Un hecho importante que hay que mencionar es que no se recomienda la instalación de by-pass, a través de las trampas de vapor, a menos que sean equipos que no pueden ser parados para la reparación de la trampa. Esto se debe a que mediante la válvula de by-pass no se puede tener un adecuado control de la cantidad de condensado que sale, el cual puede producir escape de vapor, en el caso de haber demasiada apertura o anegamiento del serpentín, en el caso de no abrir la válvula oportunamente. Como se explicó anteriormente, ambos casos resultan perjudiciales para el ahorro energético y eficiencia de los equipos.

3. ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL DE TRAMPAS DE VAPOR

Este capítulo se centrará en realizar el diagnóstico y análisis del sistema al actual de trampas de vapor de la planta de Saponificación de Colgate Palmolive C.A., S.A. y determina cuáles son las trampas que se encuentran fallando (abiertas y cerradas) y cuáles, en buen estado de funcionamiento.

La mayoría de trampas de vapor instaladas en el Departamento de Saponificación excede ya los 20 años de servicio, por lo cual es muy probable que se encuentren fallando la mayoría de trampas.

En la actualidad, el creciente avance de la globalización y la introducción de normas de calidad a los procesos de producción, hacen imperantes la necesidad de conseguir la máxima eficiencia de los equipos, y con esto tener una mayor productividad. Además de que el rápido incremento de costos de combustibles y fuentes de energía eléctrica obliga a buscar ahorros energéticos, y por eso la pérdida de vapor por trampas fallando resulta inaceptable.

Como primer paso, se describirá el sistema de trampeo actual, consumo de vapor de la planta, y los costos de combustible, químicos, para tratamiento del agua de alimentación de calderas y costo por libra de vapor producida, para luego iniciar el análisis del sistema actual de trampeo de vapor.

3.1 Descripción del sistema actual de trapeo de vapor

Las trampas de vapor son válvulas automáticas para la descarga del condensado y de los gases no condensables (como el aire), de los sistemas y equipos que funcionan con vapor. Por lo tanto, además del buen diseño de la red de distribución de vapor, es necesario contar con un buen sistema de trapeo de vapor, para lograr la máxima eficiencia en el calentamiento de los equipos.

Lo anterior asegura que el calentamiento será rápido y los costos estarán de acuerdo con la producción de los equipos. Para que una trampa funcione adecuadamente, debe tener la capacidad de evacuar todo el condensado formado, eliminar el aire y no permitir escapes de vapor; esto se logra empleando la trampa adecuada a cada servicio y proceso, ya que no existe una trampa universal, y además, efectuar un correcto dimensionamiento.

El vapor que entra a los equipos debe quedar retenido por la trampa, hasta que ceda calor y logre la condensación, para que el proceso sea eficiente y por lo tanto rentable. Hay que tomar en cuenta también que No es recomendable la instalación de un by-pass, a través de la trampa de vapor, ya que se puede hacer un mal uso del mismo, por lo tanto, se tendrá una pérdida de vapor, mayores consumos y tiempos de calentamiento. Las mayores cargas de condensado se producen durante el arranque de los equipos, ya que las tuberías y el medio por calentar se encuentran fríos, lo cual da como resultado que la transferencia de calor se acelere, formando grandes cantidades de condensado; por lo anterior, las trampas deben tener la capacidad de sacar todo el condensado formado en los equipos durante este período.

En la actualidad, se encuentran instaladas 61 trampas de vapor, de las cuales, 24 se encuentran instaladas en equipos que funcionan continuamente, a las que se les pudo realizar la medición, chequeo y diagnóstico; 23 se encuentran instalados en equipos que consumen vapor ocasionalmente, 7 se encuentran instaladas en serpentines calentadores para tuberías (líneas de *tracing*), los cuales se encuentran tapados o se usan sólo eventualmente, y las últimas 7 trampas se encuentran tapadas o algunas de ellas tienen abierto un by-pass hacia el drenaje, además de que sus tuberías de alimentación de vapor se encuentran llenas de condensado, lo cual provoca golpes de ariete en los arranques y daña los equipos y pueden provocar serios accidentes.

La mayoría de trampas de vapor se encuentran instaladas sin sus respectivos accesorios de norma (filtros, cheques, mirillas y válvulas de corte), 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. Por ejemplo, aproximadamente el 90% de las trampas carecen de válvulas de corte, antes y después de la trampa.

La válvula, instalada aguas arriba de la trampa, evita la salida del condensado atrapado en los serpentines durante la realización de reparaciones en el sistema de trampeo, y brinda la posibilidad de darle mantenimiento a la misma, sin esperar que el equipo esté fuera de servicio, mientras que la válvula aguas debajo de la trampa brinda la posibilidad de revisar la válvula cheque, sin tener problemas de retorno de condensado.

A continuación, en la tabla IX, se muestra el inventario total de trampas de vapor instaladas en la planta de saponificación.

Tabla IX. Inventario de trampas de vapor.

No.	TAMAÑO	PRESIÓN BAR	TIPO	FABRICANTE	UBICACIÓN
1	1/2	4	Cubeta invertida	ITT Hoffman	Tanque C-801
2	½	4	TD-S	Jucker	Tanque C-802
3	½	12	TD-S	Jucker	Separador del Manifold de 12 bar
4	1	4	Cubeta invertida	Jucker	A-101 Desgomado
5	½	4	TD-S	Jucker	A-201 Deodizador
6	1/2	12 Y 4	TD-S	Jucker	Separador enfrente de A-201 desgomado
7	1/2	4	TD-S	Jucker	R-704 en el área del mezanine para bajar al 1er. Nivel
8	1/2	4	TD-S	Jucker	ST-924 Glicerina blanqueada
9	1/2	4	TD-S	Jucker	ST-923 Glicerina blanqueada
10	1/2	4	TD-S	Jucker	ST-922 Glicerina destilada
11	1/2	4	Cubeta invertida	Jucker	ST-922 Glicerina destilada; parte superior
12	1/2	12	TD-S	Jucker	Frente al tanque ST-923 a la par de línea de reciclo, salida área verde
13	3/4	12	TD	Spirax Sarco	Frente al tanque ST-923 sobre bombas, salida área verde
14	1	4	TD	Jucker	Junto a línea de Diatérmico a 3 mt de # 13
15	1/2	4	TD-S	Jucker	1 mt a la izquierda de # 13
16	1/2	4	TD-S	Jucker	línea de condensado sobre DC-101 gomas
17	3/4	4	Flotador	Spirax Sarco	ST-912 Sebo desgomado
18	1 1/4	12	Cubeta invertida	Spirax Sarco	Entre tanques ST-911 y ST-912

Continuación de tabla IX. Inventario de trampas de vapor

19	1/2	4	TD-S	Jucker	Entre tanques ST-911 y ST-912, pegado a la pared detrás del tanque ST-912, lado derecho
20	1/2	4	TD-S	Jucker	Entre tanques ST-911 y ST-912, pegado a la pared detrás del tanque ST-912, 2mt arriba de #19, trancing
21	1/2	4	TD-S	Jucker	Tanque ST-911
22	1 1/2	12	Flotador	Spirax Sarco	Frente al tanque ST-909 salmuera, pertenece al equipo EV-701
23	1	4	Cubeta invertida	Spirax Sarco	En el intercambiador frente a tanque ST-912 Salmuera
24	3/4	4	Flotador	Spirax Sarco	ST-914 Cebo blanqueado
25	3/4	4	Flotador	Spirax Sarco	ST-915 Aceite blanqueado
26	1/2	4	Cubeta invertida	Spirax Sarco	R-401 Sebo blanqueado
27	1/2	4	Cubeta invertida	Spirax Sarco	R-402 Aceite blanqueado
28	1/2	4	TD-S	Jucker	línea de condensado sobre tanque R-404
29	1/2	4	TD-S	Jucker	línea de condensado sobre tanque R-404
30	1/2	4	TD-S	Jucker	línea de condensado sobre tanque R-403
31	3/4	4	Cubeta invertida	Spirax Sarco	Reactor A-401 parte inferior Saponificador
32	1/2	4	TD-S	Jucker	Reactor A-401 parte superior saponificador
33	1/2	4	TD-S	Jucker	Reactor A-402 parte superior enfriador
34	3/4	4	Cubeta invertida	Spirax Sarco	Reactor A-402 parte inferior enfriador
35	1/2	4	TD-S	Jucker	Columna de lavado parte superior
36	1/2	4	TD-S	Jucker	columna de lavado parte superior 80 cm., detrás de trampa # 33

Continuación de tabla IX. Inventario de trampas de vapor

37	3/4	4	Cubeta invertida	Spirax Sarco	1 mt a la izquierda del Fitting parte superior
38	1/2	4	TD-S	Jucker	A la izquierda del Fitting parte superior
39	3/4	4	Cubeta invertida	Spirax Sarco	Intercambiador Frente al Fitting
40	1/2	4	TD-S	Jucker	1 mt atrás de centrífuga S-403 Veronessi
41	1/2	4	TD-S	Jucker	R-409 NEAT SOAP parte superior
42	1/2	4	TD-S	Jucker	Bajo gradas para subir al mezanine de Pailas
43	1/2	4	TD-S	Jucker	Parte baja de ST-907 1er. Nivel
44	1	12	TD	Jucker	Manifold de distribución para las secadoras
45	1	8	TD	Spirax Sarco	A un costado de Secadora de 2000 kg/h
46	1	8	TD	Jucker	A un costado de Secadora de 2000 kg/h, a 50 cm debajo de la trampa # 43
47	1	8	TD	Jucker	A un costado de Secadora de 2000 kg/h, a 1mt debajo de trampa # 43
48	1/2	8	TD	Spirax Sarco	Debajo del Tanque TR-501
49	1	8	TD	Spirax Sarco	Detrás del tanque TR-501
50	1/2	4	TD	Jucker	Línea de distribución para tanques ST- 901, 902 y 903 bajo a la regulación
51	1/2	4	TD-S	Jucker	Tanque ST-901, sebo crudo
52	1/2	4	TD	Spirax Sarco	Tanque ST-902, sebo crudo
53	1/2	4	TD-S	Jucker	Tanque ST-903, aceite crudo
54	1/2	4	TD-S	Jucker	Tanque de descarga de sebo P-901 A
55	1/2	4	TD-S	Jucker	1 mt. detrás del tanque de descarga de sebo P-901 A
56	1/2	4	TD-S	Jucker	Tanque de descarga de aceite P-901 B

Continuación de tabla IX. Inventario de trampas de vapor

57	1/2	4	TD-S	Jucker	1 mt. detrás del tanque de descarga de aceite P-901B
58	1/2	4	TD-S	Jucker	Tanque de alimentación de aceite P-902 D
59	1	4	Cubeta invertida	Spirax Sarco	Bajo el rótulo de, Vapor área de recepción de grasas
60	1	4	Cubeta invertida	Jucker	Tanque ST-917 lejía Final
61	1/2	4	TD	Spirax Sarco	Final de línea de encamisado de tubería de ácido sulfónico

Como se observa en la tabla anterior, se muestra el inventario de trampas para vapor instaladas en el Departamento de Saponificación, y como se puede observar, la mayoría de trampas son del tipo termodinámica con filtro incorporado (TD-S) de 1/2", marca Jucker; actualmente esta marca ya no se encuentra en el mercado y ha sido sustituida por las de marca Spirax Sarco. Los otros tipos de trampas utilizadas, en la planta de Saponificación, son las trampas mecánicas de cubeta invertida y las de tipo flotador, las cuales son trampas de descarga continua de condensado, que es ideal para el arranque de equipos de calentamiento.

Las presiones a las que se encuentran operando las trampas de vapor en la Planta de Saponificación de Colgate Palmolive C.A., S.A. son de 12 bar (175 PSI, que es casi la presión de generación de vapor por parte de las calderas), y la mayor parte de trampas se encuentran sometidas a una presión de operación de 4 bar (60 PSI), la cual es la presión comúnmente utilizada para equipos de calentamiento, debido al mayor calor latente que posee el vapor a esta presión, en relación con la presión de 12 bar.

3.2 Descripción del consumo de vapor de la planta de saponificación

El sistema de generación de vapor de Colgate Palmolive C.A., S.A. está compuesto por dos circuitos: el de alta presión (190 PSI) y el de baja presión (100 PSI). El circuito de alta presión es el que alimenta las plantas de saponificación, líquidos, parte de la planta de crema dental y servicios generales como el gimnasio, y está formado por dos calderas de 300 B.H.P. (*Boiler* HP o Caballos de caldera), una caldera es de marca Cleaver Brooks y la otra marca York Shipley, las cuales trabajan combinadas en paralelo y en momentos de bajo consumo de vapor que se alternan en períodos de *standby*, para que estén listas para entrar en funcionamiento, y que juntas puedan satisfacer demanda existente por parte de las plantas.

Cuando la demanda existente en el circuito de alta presión (190 PSI) es baja, se trabaja sólo con este sistema y se regula mediante una válvula reductora de presión de 190 PSI a 100 PSI, para alimentar el circuito de baja presión, el cual alimenta las plantas de detergentes, jabones y el resto de la planta de crema dental.

Cuando la demanda en el circuito de alta presión es muy alta y no permite que se regule de 190 a 100 PSI, para alimentar el circuito de baja presión, o cuando se tiene demanda de vapor solo en este circuito, se cuenta con una caldera marca Cleaver Brooks de 100 BHP, la cual produce vapor únicamente a la presión de 100 PSI.

Actualmente, Colgate Palmolive C.A., S.A. cuenta con unos medidores de flujo instalados en la salida del manifold de distribución de las calderas y otros a la entrada de cada una de las tuberías de alimentación de vapor principal en las plantas.

De acuerdo con los valores medidos por dichos equipos de medición, se sabe que el Departamento de Saponificación consume como mínimo el 80% del vapor total generado por las calderas con que cuenta la empresa, lo cual hace necesario mejorar la eficiencia en el uso del vapor, con el fin de reducir significativamente el consumo de vapor, y con esto, los costos de operación de la planta.

A continuación, se muestra la tabla X, en la que se detallan los consumos en libras de vapor hechos por las plantas:

Tabla X. Consumo de vapor de la planta de Saponificación

Departamento	Consumo en libras de vapor Períodos del año 2003			Porcentaje del total para el último período
	1/09 al 27/09	27/09 al 1/11	1/11 al 1/12	Total prod. /Total cons.
Saponificación	1648814.0	2212453.2	2296938.0	82.64%
Líquidos	107325.0	128762.7	107677.9	3.87%
Detergentes	57847.0	88081.8	61446.2	2.21%
Crema	144276.0	204687.2	161314.7	5.80%
Misceláneos	6205.0	104960.0	152011.3	5.47%
Total producido	1964467.0	2738944.9	2779388.1	100.00%

Total producido a 190 PSI	1775954.0	2451120.5	2532918.4	91.13%
Total producido a 100 PSI	188513.0	287824.4	246469.6	8.87%

En las figuras 61, 62 y 63, que se muestran a continuación, se presentan las gráficas de los porcentajes de consumo de vapor, por parte de las plantas mencionadas en la tabla anterior.

Figura 61. Porcentajes de consumo de vapor para el mes de septiembre

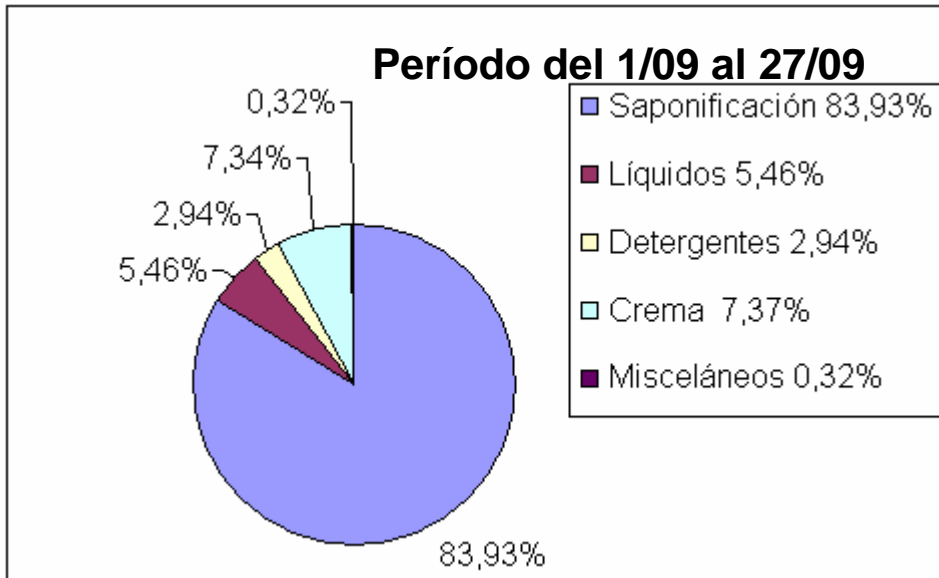
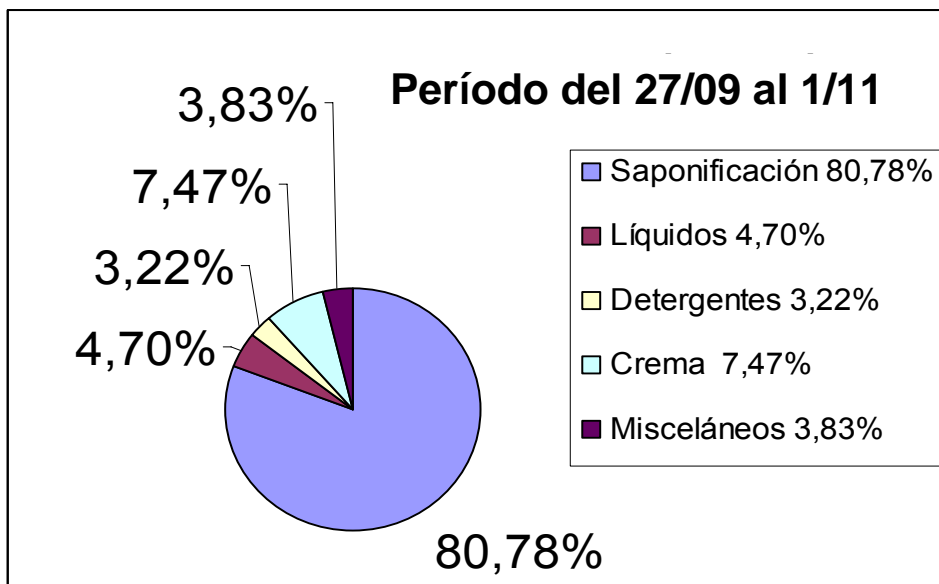
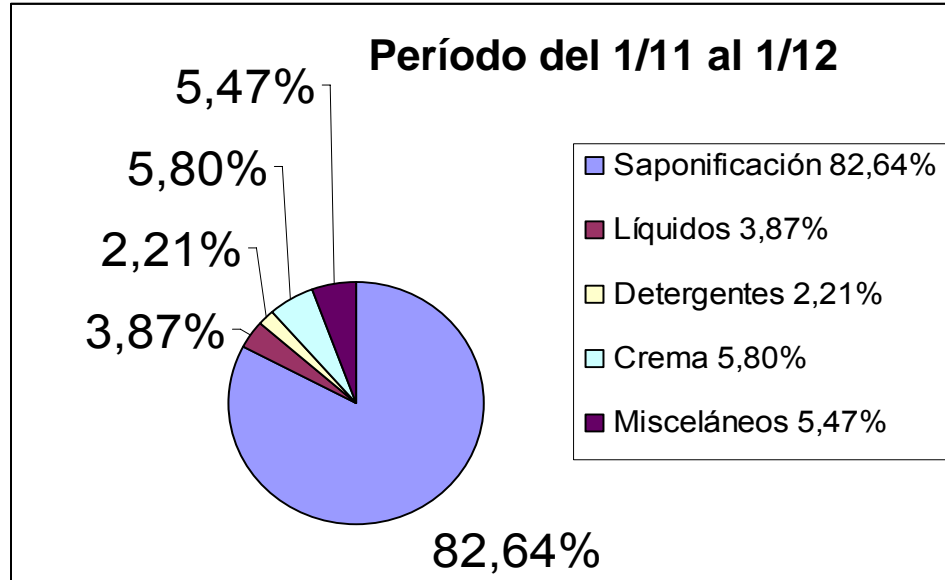


Figura 62. Porcentajes de consumo de vapor para el mes de octubre



Como se puede observar en estas dos primeras gráficas, el consumo por parte de Saponificación se mantiene; lo que hay que notar también es que los misceláneos aumentan y éste es vapor sin medir realmente, que puede indicar deterioro de trampas y fugas de vapor en el sistema.

Figura 63. Porcentajes de consumo de vapor para el mes de noviembre



Como se observa en la última grafica de los valores medidos de caudal en libras de vapor, el valor de misceláneos sigue incrementándose, lo cual indica que es muy probable que se esté incrementando el número de fugas dentro del sistema de distribución de vapor, los cuales no son contabilizados por lo medidores, debido a que éstos se encuentran en la entrada de cada una de las plantas, por lo que en puntos intermedios pudieran existir fugas considerables de vapor. También afecta en los misceláneos, el hecho de que se tiene otra línea sin contabilizar, de la cual se extrae vapor para el Departamento de Crema Dental.

Para los cálculos posteriores, se usarán los valores correspondientes al periodo del 1 de noviembre al 1 de diciembre. La planta de saponificación consume vapor a 191 PSI (13 bar), por lo que se hará el calculo del costo del vapor a esta presión para todo el departamento, porque aunque se regule posteriormente, a menor presión para consumo dentro de la planta, el costo por libra de vapor sigue siendo el mismo de alta presión.

3.3 Costos de la generación de vapor para la planta de Saponificación

Esta sección se centra en analizar los costos del vapor generado para la planta de saponificación, en donde se incluyen principalmente los costos directos de la planta de saponificación por gasto de combustible y químicos, para tratamiento del agua de alimentación de las calderas, que son usados en la producción de 80 % del total de producción de vapor que consume la planta.

3.3.1 Costo de combustible

El gasto de combustible, por parte del sistema de generación de vapor de Colgate Palmolive C.A., S.A., no es proporcional a las libras de vapor producidas por las calderas, ya que el gasto de combustible depende de la presión, a la cual se este generando el vapor (en este caso, generan a 195 psi y a 100 psi) y de la eficiencia del generador.

La temperatura de ebullición del agua depende de la presión interna en el generador, ya que para generar vapor a 190 psig (200 psia), se debe tener una temperatura de 383.7° F (195.39° C).

Mientras que para obtener vapor a 100 psig (relativos), se necesita una temperatura de 337.9° F (169.94° C), estos datos fueron tomados de las tablas de vapor saturado que se incluyen en los anexos.

El consumo de combustible real (aceite pesado #6, también llamado bunker), que es el combustible que se ha pedido por mes a la empresa distribuidora ESSO, para la generación del total de vapor, se muestra en la tabla XI, para los meses del año 2003:

TABLA XI. Galones de combustible totales consumidos por el sistema

MES	CONSUMO / MES GALONES	VALOR / GALON	COSTO
Enero	27055	Q6.23	Q168,552.65
Febrero	35021	Q6.18	Q216,429.78
Marzo	25731	Q6.72	Q172,912.32
Abril	36561	Q7.71	Q281,885.31
Mayo	31403	Q7.75	Q243,373.25
Junio	29116	Q7.58	Q220,699.28
Julio	30140	Q7.58	Q228,461.20
Agosto	29077	Q7.68	Q223,311.36
Septiembre	29753	Q8.00	Q238,024.00
Octubre	31086	Q7.97	Q247,755.42

Para los cálculos posteriores, que determinaron el costo por libra de vapor producida a 190 PSI, se usarán los valores correspondientes a los consumos del mes de octubre; es decir, que será de 31086 galones a un precio de Q 7.97.

3.3.1.1 Cálculo del consumo de combustible teórico

Para empezar, se hará el cálculo del consumo de combustible para generar vapor a 190 psig (presión relativa o manométrica). Para esto, se va a usar la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo de comb. por libra de vapor} = \frac{Q_t}{\text{Poder Calorífico} \times \text{eficiencia}}$$

De la fórmula anterior:

a) Q_t = Calor total necesario para evaporar una libra de agua desde la temperatura inicial de alimentación para las calderas de 50° C (122° F), hasta la temperatura de ebullición a 190 psi de 383.7° F (195.39° C).

Qt se va a calcular de la siguiente manera: $Q_t = Q_1 + Q_2$

- $Q_1 = \text{calor sensible} = Q' \times \Delta T$
 $= 1 \text{ BTU/ (lb x } ^\circ\text{F)} \times (383.7 - 122) ^\circ\text{F}$
 $= \mathbf{261.7 \text{ BTU/lb}}$

* $Q_2 = \text{calor latente sacado de la tabla de vapor saturado a 190 psig} =$
 $\mathbf{\underline{Q_2 = 842.2 \text{ Btu/lb}}}$

Entonces: $Q_t = 261.7 + 842.2 = \mathbf{\underline{1103.9 \text{ BTU/lb de vapor generado.}}}$

b) Poder calorífico del búnker = $\mathbf{153600 \text{ BTU/Galón}}$

c) Eficiencia de la caldera = 80 % aproximadamente

Por lo tanto, el Gasto de combustible para producir una libra de vapor a 190 psig es igual a:

$$\text{Gasto de combustible /lb} = \frac{1103.9 \text{ BTU/lb}}{153600 \text{ BTU/gal} \times 0.80}$$

$$\text{Gasto de combustible /lb} = 0.00898 \text{ galones por libra}$$

$\mathbf{\underline{\text{Consumo total a 200 psi}}} = \text{gasto/lb} \times \text{consumo de vapor a 200 psia}$
 $\text{Consumo total a 200 psi} = 0.00898 \text{ gal/lb} \times 2532918.4 \text{ lb.} = \mathbf{\underline{22745.61 \text{ Gal.}}}$

El consumo teórico de combustible, para generar vapor a 200 psi, debe ser de 22745.61 galones por mes.

A continuación, se hará el mismo cálculo para el gasto de combustible para producir vapor a 100 psi. También con temperatura inicial de 50° C (122° F), temperatura final de 337.9° F (169.94° C).

$$\text{Consumo de comb. / lb.} = \frac{Q_t}{\text{Potencia calorífica x eficiencia}}$$

- $Q_1 = Q' \times \Delta T = 1 \text{ BTU}/(\text{lb} \times ^\circ\text{F}) \times (337.9 - 122)^\circ\text{F} = 215.9 \text{ BTU}/\text{lb}$
- $Q_2 = \text{sacado de tabla de vapor} = 881.6 \text{ BTU}/\text{lb}$

$$\text{Entonces } Q_t = 215.9 \text{ BTU}/\text{lb} + 881.6 \text{ BTU}/\text{lb} = 1097.5 \text{ BTU}/\text{lb}$$

$$\text{Consumo de combustible/lb a 100 psi} = \frac{1097.5 \text{ BTU}/\text{lb}}{153600 \text{ BTU}/\text{gal} \times 0.80}$$

$$\text{Consumo de combustible/lb a 100 psi} = 0.00893 \text{ gal. / lb.}$$

* **Consumo total para producir vapor a 100 psi = gasto/lb x consumo a 100 psi**

$$= 0.00893 \text{ gal}/\text{lb} \times 246469.6 \text{ lb} = \underline{\underline{2201.34 \text{ gal.}}}$$

❖ **Entonces el consumo total de combustible teórico = gasto a 200 psia + gasto a 100 psia**

$$\text{Consumo total teórico de combustible} = 22745.61 \text{ gal} + 2201.34 \text{ gal} =$$

$$\text{Consumo total teórico de combustible} = \underline{\underline{24946.95 \text{ gal}}}$$

❖ **Porcentaje de combustible gastado en la producción a 200 psia.
(Teóricos)**

$$\% \text{ de gasto a 200} = \frac{\text{gasto a 200 psia}}{\text{Gasto total}} \times 100 = \frac{22745.61}{24946.95} \times 100 = 91 \%$$

91% del combustible se consume para producir vapor a 191 psig

**3.3.1.2 Consumo y costo real de combustible por la
Planta de Saponificación**

El consumo real del combustible, utilizado para la generación de vapor a 200 psia, se obtiene de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Consumo real a 200 psia} &= \% \text{ teórico de gasto a 200} \times \text{consumo total real} \\ &= 0.91 \times 31086 \text{ gal} = \underline{28288.6 \text{ gal.}} \end{aligned}$$

El consumo total real fue sacado de la tabla 2 para el mes de octubre.

$$\text{Consumo saponificación} = \frac{\text{cons. real a 200} \times \text{cons. de vapor de sapon.}}{\text{Consumo total de vapor a 200 psi}}$$

$$= \frac{2828.6 \text{ gal} \times 2296938 \text{ lb de vapor}}{2532918.4 \text{ lb de vapor}} = \underline{25652.77 \text{ gal.}}$$

De acuerdo con el cálculo anterior, se determina que el consumo total de combustible del Departamento de Saponificación es de 25652.77 galones por mes.

Entonces, el costo por combustible, tomando como base el costo a octubre del galón de búnker, es:

$$C_{comb.} = \text{Consumo de combustible} \times \text{costo por galón}$$

$$C_{comb.} = 25652.77 \text{ gal.} \times Q 7.97$$

$$\underline{C_{comb.} = 204,452.58 \text{ Quetzales}}$$

Como se ve, el principal costo en la producción de vapor es el gasto de combustible, en cual sólo para la planta de saponificación es de 204,452.58 quetzales por mes.

3.3.2 Costo de los químicos agregados al agua de alimentación de la caldera.

Este es otro factor que se debe considerar para calcular el costo de producir una libra de vapor, ya que influye directamente en el precio de la misma. Los químicos utilizados en el tratamiento de agua de alimentación para las calderas de la empresa son:

- a) DGTA 012: este químico es usado para aplicarse al agua de alimentación de las calderas, para el tratamiento de químico interno. Este químico se mezcla con agua para hacer un bach, el cual posteriormente es alimentado para la caldera mediante una bomba dosificadora, que inyecta el químico en la tubería de alimentación de agua. El consumo de este químico es mostrado en la tabla XII, que se presenta a continuación:

Tabla XII. Consumo de químico DGTA 012

Caldera	Consumo por Bach	Frecuencia de preparación por semana	Consumo por mes galones
Cleaver Brooks de 300 B.H.P.	5 galones	2 veces	40
York Shipley de 300 B.H.P.	5 galones	2 veces	40
Cleaver Brooks de 100 B.H.P.	10 galones	2 veces	80
Total			160 galones

- b) DGTA 022: este químico también es utilizado para la el agua de alimentación de las calderas. Debe mezclarse con agua para hacer un bach. El consumo de este químico se muestra en la tabla XIII, presentada a continuación.

Tabla XIII. Consumo de químico DGTA 022

Caldera	Consumo por bach	Frecuencia de preparación por semana	Consumo por mes
Cleaver Brooks de 300 B.H.P.	5 galones	2 veces	40 galones
York Shipley de 300 B.H.P.	5 galones	2 veces	40 galones
Cleaver Brooks de 100 B.H.P.	10 galones	2 veces	80 galones
Total			160 Gal.

- c) Sal de sodio: este químico es utilizado para la regeneración de los suavizadores de agua de alimentación para las calderas. La regeneración se lleva a cabo, 2 veces por semana y se agrega un saco por cada una; *entonces el consumo de sal es de 8 sacos por mes.*

Ahora que se conoce el consumo de los principales químicos utilizados, se procede a calcular el costo mensual de los químicos. Los costos de los químicos y el total del gasto se muestran en la siguiente tabla XIV.

Tabla XIV. Gasto total en químicos para el agua de alimentación de calderas

QUIMICO	CONSUMO POR MES	VALOR UNITARIO	TOTAL
DGTA 012	160 galones	Q122.46	Q19,593.60
DGTA 022	160 galones	Q120.38	Q19,260.80
SAL DE SODIO	8 quintales	Q205.00	Q1,640.00
TOTAL			Q40,494.40

El costo total de químicos es de Q 40,494.40, el cual es para el total de vapor generado. El costo de los químicos para el departamento de saponificación debe ser del 82.64 % y, por lo tanto, el costo para saponificación es el siguiente (sin contar mano de obra):

$$C_{\text{químico}} = \% \text{ de consumo por saponificación} \times \text{costo total}$$

$$C_{\text{químico}} = 0.8264 \times Q 40494.40 = Q 33464.50$$

El costo de químicos es de 33,464.50 quetzales por mes.

3.3.3 Costo de la libra de vapor producida para la planta de saponificación

Como se mencionó anteriormente, la planta de saponificación es alimentada con vapor a 190 psig (200 psia), y de acuerdo con los valores calculados anteriormente, ahora se calculará el precio por libra de vapor generado por las calderas. Este dato va a ser de mucha importancia, para poder calcular el costo de las pérdidas de vapor, ya sea por fugas, trampas abiertas o tuberías anegadas de condensado. Para calcular el costo por libra de vapor, se usará la siguiente fórmula:

$$C_{\text{vapor}} = \text{Costo/libra de vapor producida} = \frac{C_{\text{comb.}} + C_{\text{quimico}}}{\text{Consumo vapor planta.}}$$

Los datos para esta fórmula ya fueron calculados y se enumeran en la tabla XV, que es un resumen de los datos medidos y calculados:

Tabla XV. Datos para el cálculo del costo del vapor para Saponificación

Datos	Valor calculado
Consumo de vapor de saponificación	2296938 libras de vapor (flujometro)
Costo de combustible de saponificación	204,452.58 quetzales
Costo del químico	33,464.50 quetzales

$$C_{\text{vapor}} = \frac{Q\ 204452.58 + Q\ 33464.5}{2296938\ \text{lb de vapor}} = Q.\ 0.10358\ \text{/lb de vapor}$$

Por tanto, el costo de la libra de vapor es de **Q. 0.10 /lb. de vapor**

3.4 Observaciones de la instalación actual

Como recomendación del fabricante, la vida útil de las trampas es de aproximadamente 6 años. Sin embargo, esta vida, depende de las condiciones en las que esté instalada la trampa y su mantenimiento. En la instalación actual, se pueden observar las siguientes características:

- a) Falta de válvulas de corte, antes y después de la trampa de vapor

Es importante la instalación de dichas válvulas, con el objeto de facilitar el mantenimiento de las trampas. De esta manera, si se necesita realizar algún trabajo en la trampa (limpieza, reemplazo de piezas y otros), se puede sacar de servicio fácilmente, evitando la salida del condensado atrapado en el serpentín del equipo, en el momento de remover la trampa, así como la revisión y mantenimiento de los chequeos (se evita cualquier retorno de condensado de otros sistemas) después de las trampas. Siempre que el condensado se eleve hacia una línea de retorno, debe instalarse la válvula de retención o chequeo.

- b) Falta de filtro antes de la trampa

Los filtros se instalan para proteger la trampa de vapor contra taponamientos parciales o completos, causados por la suciedad, partículas de incrustaciones (carbonatos y óxidos que se desprenden de las tuberías por el flujo del vapor), limaduras de hierro, escoria y otras partículas extrañas, comunes en sistemas de tuberías, y que son arrastradas junto al condensado, por el vapor. Una trampa tapada o parcialmente tapada produce anegamiento de condensado en los equipos, por lo tanto, incrementa el consumo de vapor y los tiempos de calentamiento en el proceso.

Aproximadamente el 50% de las trampas instaladas actualmente no posee filtro, lo cual acorta la vida útil de las mismas; las que sí lo poseen presentan una falta de mantenimiento.

- c) Falta de válvulas cheque (unidireccionales o retención), a la salida de la trampa

Las válvulas de retención son instaladas a la salida de las trampas de vapor, para evitar un contraflujo de condensado o el retorno del mismo. Además, sirven para evitar que las contrapresiones provenientes de la línea de retorno de condensado puedan dañar y acortar la vida útil de las trampas. Es indispensable instalar estas válvulas, siempre que el condensado se tenga que elevar, o se tengan contrapresiones.

- d) Falta de limpieza de las mirillas o falta de mantenimiento de las mismas

Si la descarga de la trampa se efectuara al ambiente, en un lugar visible, se podría observar el correcto funcionamiento de las mismas.

Pero para poder observar la descarga de la trampa de vapor, en sistemas de tuberías de retorno de condensado, es necesaria la instalación de un visor, con el objeto de poder ver si la trampa descarga condensado o no (trampa tapada) y ver si existe alguna fuga de vapor (trampa abierta).

Es por eso, que es indispensable contar con un programa de inspección y/o mantenimiento de las trampas de vapor, junto con sus respectivas mirillas, con el fin de mantener la eficiencia del sistema, lo más alta posible.

e) Tuberías de vapor sin mantenimiento

Actualmente el mantenimiento efectuado a las tuberías de vapor ha sido sólo de pintura, pero no se ha realizado un programa de inspección de tuberías, con el objetivo de determinar si existen fugas de vapor en las mismas (un agujero de 3 mm puede descargar 65 lb/hr de vapor a 10 bares relativos), lo cual se convierte en pérdidas y mayor consumo de vapor.

Además, se debe verificar el buen estado del aislamiento de la tubería, ya que el aislamiento reduce hasta el 95% la transferencia de calor hacia el ambiente, y reducir con eso la condensación dentro de la red de distribución, con lo cual se obtiene una mayor calidad de vapor y se reducen las pérdidas de presión en las tuberías. Por lo tanto, la inspección periódica de tuberías es indispensable para mantener la eficiencia de la instalación a lo largo del tiempo.

f) By-Pass permanentemente abiertos

La instalación de un by-pass, para la evacuación del condensado de los equipos, no es recomendable, porque no se puede tener un estricto control en la evacuación del mismo.

Al trabajar con el by-pass, la válvula debe abrirse periódicamente para evacuar el condensado, pero al no hacerlo en los periodos adecuados, se produce un anegamiento de condensado en los equipos (reduce la transferencia de calor, aumenta el tiempo de calentamiento y también el consumo de vapor); o bien al estar permanentemente abierto, se produce una pérdida de vapor, lo cual es igualmente perjudicial, pues incrementa los costos de producción de vapor.

Entonces, un by-pass debe instalarse únicamente cuando el equipo no puede ser parado y la trampa se encuentra dañada o se necesita hacer reparaciones a los accesorios del sistema de trampeo, por lo que mediante el uso del by-pass se procede a sacar el condensado, para que el equipo no sufra un anegamiento y pueda seguir funcionando (calentando).

g) Falta de trampas de línea

Las trampas de vapor deben ser instaladas en los puntos bajos del sistema, con el objeto de que el condensado encuentre fácilmente el camino hacia la trampa, y de esta manera pueda sacar todo el condensado formado durante el arranque y paro del sistema.

Además se deben instalar trampas de vapor al final de cada línea de vapor, para evitar la acumulación de condensado y golpes de ariete. Las trampas de vapor deben ser instaladas a distancias de 100 pies (30 mt), con el fin de drenar todo el condensado formado.

Durante el arranque, la diferencia de temperatura entre el vapor y las tuberías es muy alta; se producen elevadas tasas de condensación que deben ser evacuadas inmediatamente; también en los paros del sistema se debe evacuar todo el condensado que se ha formado por el vapor que quedó atrapado dentro de las tuberías.

En la actualidad, no hay ninguna trampa de línea instalada en la red de distribución de vapor. Una buena evacuación de condensado provee y asegura la buena calidad del vapor (vapor saturado y seco), reduce los tiempos de calentamiento, el consumo de vapor y protege también los equipos de medición (manómetros y medidores de flujo, etc.).

h) Ausencia de bolsillos colectores

Para instalar trampas de línea, se sugiere la instalación de una bota o bolsillo colector, que facilite la acumulación del condensado y partículas indeseables en el sistema, durante el ciclo de descarga de la trampa. También se recomienda instalar en el fondo del mismo una válvula para drenaje, para poder evacuar la suciedad, sedimentos, etc., del bolsillo y evitar que lleguen hasta la trampa.

i) Falta de mantenimiento y uso de accesorios de mala calidad

Se pudo observar una ausencia casi total de mantenimiento preventivo a todos y cada uno de los componentes del sistema general de vapor y condensado, que se ha agravado con el empleo de accesorios y válvulas de mala calidad, para presiones inadecuadas, para uso en otros fluidos, etc., lo cual resulta en daños muy frecuentes en los sistemas, los cuales tienen programados escasos periodos de paro para reparaciones mayores, razón por la cual se hace imperativo tomar las medidas al respecto.

3.5 Resultados del diagnóstico de las trampas de vapor de la planta

El diagnóstico de las trampas instaladas actualmente en la Planta de Saponificación, se realizó de acuerdo con el procedimiento mencionado en el inciso 2.4, relativo al diagnóstico de trampas de vapor. Como resumen, se dice que el análisis se efectúa utilizando una pistola de termografía infrarroja, se mide la temperatura antes, en el cuerpo y después de la trampa, y de acuerdo con las temperaturas medidas, el diagnóstico puede ser de trampa fallando abierta, si la diferencia de temperaturas muy cerrada entre la entrada y la salida de la trampa), o fallando cerrada, si hay temperatura muy baja en la entrada.

Por ultimo, se dirá que el diagnóstico puede ser de de buen estado de funcionamiento, si se tiene alta temperatura de entrada y temperatura de descarga superior a los 100 °C, o alrededor de ese valor en las trampas termostáticas.

De las 61 trampas instaladas en el sistema de trampeo de vapor de la planta de Saponificación de Colgate Palmolive C.A., S.A., la mayoría se encuentra actualmente funcionando y se registraron las lecturas mostradas en la tabla presentada en el anexo II, donde además se hacen las observaciones respectivas y se indican cuáles trampas se encuentran en buen estado de funcionamiento, cuáles se encuentran fallando abiertas o cerradas, y se muestra que la mayoría de trampas se encuentra fuera de servicio.

Como se mencionó anteriormente, de las 61 trampas instaladas actualmente, solo 24 trampas se encuentran funcionando continuamente (se les pudo efectuar la medición); las demás se encuentran fuera de servicio y son utilizadas sólo cuando existen paros demasiado largos; otras ya no se utilizan debido a que la producción es continua y, por lo tanto, el producto no se enfría tanto como para evitar su trasiego, y sea necesario su calentamiento.

Hay otras que ya no funcionan debido a que se encuentran dañadas o bien las líneas a las que pertenecen, principalmente tracing.

También hay que mencionar que las trampas, **número 37** (intercambiador ubicado entre el Fitting y columna de lavado, en la parte superior), y **la número 61** (encamisado de línea de ácido sulfónico), se encuentran dañadas y, por lo tanto, se está usando el by-pass permanentemente abierto, ya que estos equipos funcionan las 24 horas.

El equipo EV-702 no cuenta con una trampa ubicada en su salida, por lo que mediante una manguera conectada al drenaje se descarga las 24 horas de condensado y vapor. A continuación, en la tabla XVI, se resume el diagnóstico de las trampas, aunque no se presenta las recomendaciones mostradas en el inventario general, que se presenta en el anexo 2.

Tabla XVI. Diagnóstico de las trampas que pudieron ser medidas.

Trampa No.	Equipo al que pertenece la trampa	Diagnostico
1	C-801	En buen estado
3	Manifold 12 bar	En buen estado
6	Separador frente a A-201	En buen estado
11	M-801	Fallando cerrada
12	C-802, encamisado de salida.	En buen estado
13	C-802	En buen estado
18	A-201	En buen estado
20	Serpentín de tubería (tracing)	En buen estado
22	EV-701	En buen estado
23	Intercambiador EP-601 (área de salmuera)	Fallando abierta
31	Reactor A-401	En buen estado
32	Tracing sobre A-401	En buen estado
39	Intercambiador frente a Fitting	En buen estado
40	Línea de alimentación a centrífugas	Fallando cerrada
41	R-409 NEAT SOAP	Fallando cerrada
42	Bomba de trasiego, a un costado de pileta ST-916 (Sublejia final)	En buen estado
43	Bomba de trasiego, bajo ST-907	En buen estado
44	Manifold 12 bar, secadoras	En buen estado
45	Salida de secadora 2000	En buen estado
46	Salida de secadora 2000	En buen estado
47	Salida de secadora 2000	En buen estado
48	TR-501, secadoras	En buen estado
51	ST-901, Sebo crudo	En buen estado
52	ST-902, Sebo crudo	Fallando abierta

Todas las trampas han excedido su vida útil (6-8 años) y es muy probable que la mayoría presenten fugas (indicado por las temperaturas algo elevadas de descarga), por lo que deben ser cambiadas, para optimizar el sistema de vapor.

Ninguna de las trampas instaladas presenta un mantenimiento continuo, por lo que su deterioro se hace muy evidente, así como también se observa que las trampas que poseen filtro incorporado no son limpiadas y purgadas periódicamente, por lo que de esta manera los taponamientos de trampas son frecuentes.

La mala instalación de las trampas se presenta al carecer de sus respectivos accesorios de norma (filtros, cheques, mirillas y válvulas de corte), que junto con la falta de mantenimiento, acortan considerablemente la vida útil de las trampas, y con eso perjudican la eficiencia de funcionamiento de los equipos de calentamiento.

4. OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRAMPAS DE VAPOR

Con base en el diagnóstico de trampas de vapor, en este capítulo, se hará el cálculo de pérdidas que representan las trampas fallando abiertas, así como se recomendará la recuperación de condensado, ya que actualmente no se hace. La recuperación de condensado es de vital importancia para el ahorro en costos de generación de vapor; es recomendable y posible recuperar hasta un 70% del condensado, que se ha formado en las líneas de distribución de vapor y en equipos de calentamiento de vapor.

Lo anterior constituye primeramente ahorro de agua de reposición, ya que se tiene que agregar sólo un 30 % de agua cruda de reposición, y constituye un ahorro importante en el costo de químicos para el tratamiento del agua, ahorro en costo de combustible, para calentar dicho volumen de agua y, en general, eleva la eficiencia de funcionamiento de las calderas.

La propuesta de optimización del sistema de vapor de la Planta de Saponificación se presentará después de hacer los cálculos por pérdida de vapor en trampas fallando abiertas y del cálculo de ahorro por recuperación de condensado.

Por último, para finalizar este capítulo, se dará un programa de mantenimiento para todo el sistema de vapor que incluye trampas de vapor, válvulas reductoras de presión y el sistema de recuperación de condensado, con lo que se pretende mantener por mayor tiempo la ganancia en la eficiencia del sistema logrado y, por tanto, el ahorro en gastos de generación de vapor.

4.1 Cálculo de pérdidas por trampas fallando abiertas en los equipos

Como ya se mencionó anteriormente, cualquier trampa fallando abierta representa una pérdida y un aumento en el consumo de vapor, lo cual no debe ser permitido, debido a que se elevan los costos de producción. De acuerdo con el diagnóstico realizado en el capítulo anterior (inciso 3.5), fueron encontradas fallando abiertas cuatro trampas, así como las que tienen abierto el by-pass, las cuales se deben cambiar de inmediato, para eliminar las pérdidas de vapor generadas.

Además al equipo EV-702 (evaporación 2da. Etapa), se le eliminó la trampa en el primer nivel y actualmente, mediante una manguera conectada a la salida de la válvula de by-pass, se descarga directamente al drenaje. La trampa debe ser de 1/2" y trabaja con una presión de 12 bar.

La pérdida de vapor, en libras/hora, puede estimarse, mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$\text{Pérdida en Lbs/hr} = 24.24 \times P_a \times D^2$$

Donde: P_a = presión en psi absolutos


D = diámetro del orificio de la trampa, medido en pulg.

Ahora, se va a calcular la pérdida en lb/hr de la trampa # 23, de cubeta invertida, de 1" de diámetro:

- P_a : trabaja con una presión absoluta de 5 bar (4 bar manometricos) y por tanto, la presión = 73.5 psia.

- D: se toma de la tabla XVII, mostrada a continuación, y como descarga a la presión atmosférica, la presión diferencial es la de operación de la trampa.

Tabla XVII. Tabla de orificios de las trampas de vapor

 Cast Iron Inverted Bucket Steam Trap B Series Capacities Chart						
CAPACITIES LB/HR for Kg/Hr, multiply Lb/Hr by .454						
Trap Size		1/2" - 3/4"	3/4"	1"	1-1/4"	2"
1 - 15 psi	Model No. →	B1H-15	B2-15	B3-15	B4-15	B5-15
	Orifice →	1/4"	3/8"	1/2"	5/8"	1-1/16"
	1 psi	665	1700	2140	3940	11,600
	2 psi	715	1920	2330	4090	12,100
	3 psi	755	2110	2600	4350	13,200
	5 psi	835	2370	2920	4980	14,700
	15 psi	960	2810	3590	5990	17,800
5 - 30 psi	Model No. →	B1H-30	B2-30	B3-30	B4-30	B5-30
	Orifice →	3/16"	5/16"	3/8"	1/2"	3/4"
	5 psi	615	1920	2340	4150	10,000
	10 psi	715	2260	2840	4930	12,100
	15 psi	810	2580	3230	5680	14,000
	20 psi	895	2870	3630	6200	15,600
	30 psi	945	3060	3900	6720	17,100
10 - 75 psi	Model No. →	B1H-75	B2-75	B3-75	B4-75	B5-75
	Orifice →	5/32"	1/4"	9/32"	3/8"	9/16"
	10 psi	500	1250	1970	3840	9,860
	20 psi	610	1600	2500	4720	12,400
	30 psi	705	1850	2860	5470	13,900
	40 psi	770	2000	3120	6080	15,200
	75 psi	905	2350	3640	7150	17,900
20 - 125 psi	Model No. →	B1H-125	B2-125	B3-125	B4-125	B5-125
	Orifice →	1/8"	13/64"	1/4"	11/32"	1/2"
	20 psi	446	1100	2080	4450	10,800
	40 psi	600	1220	2600	5530	12,500
	60 psi	695	1700	3020	6350	15,600
	80 psi	765	1900	3380	7110	17,100
	125 psi	830	2080	3640	7750	18,900
60 - 180 psi	Model No. →	B1H-180	B2-180	B3-180	B4-180	B5-180
	Orifice →	3/32"	5/32"	7/32"	9/32"	7/16"
	60 psi	585	1500	2580	4250	13,650
	80 psi	642	1700	2830	4730	15,100
	100 psi	703	1800	3070	5080	16,600
	125 psi	765	1940	3380	5680	18,400
	180 psi	816	2100	3580	5980	19,100
125 - 250 psi	Model No. →	B1H-250	B2-250	B3-250	B4-250	B5-250
	Orifice →	0.70"	9/16"	3/16"	1/4"	3/8"
	125 psi	562	1825	2760	4730	15,000
	150 psi	600	1940	2910	4980	16,100
	175 psi	630	2060	3120	5130	16,800
	200 psi	665	2120	3380	5500	17,800
	250 psi	695	2240	3460	5780	18,900

Fuente: Spirax Sarco. Design of fluid system, steam utilization. Pág. 62

De acuerdo con la tabla anterior, para una trampa de 1plg, con una presión de 73.5 PSI el diámetro de orificio es de 9/32 plg.

Entonces de acuerdo con la fórmula presentada anteriormente:

$$\text{Pérdida} = 24.24 \times 73.5 \times (9/32)^2 = \underline{\underline{140.93 \text{ lb/hr}}}$$

Esta pérdida se debe multiplicar por el número de horas trabajadas o de servicio, luego por el costo de la libra de vapor, y después se obtendrá el costo de esta pérdida de vapor. En la tabla XVIII, que se muestra a continuación, se presenta el resumen del cálculo de pérdida en libras de vapor por mes de las trampas fallando abiertas.

Tabla XVIII. Pérdidas en las trampas de vapor, fallando abiertas

Trampa No.	Tipo y medida	Diámetro de orificio en plgs.	Presión en bar (psi)	Pérdida Lb/hr	Horas que trabaja	Días trabajados por mes	Pérdidas por mes
23	Cubeta Invertida 1"	9/32	4 bar	140.93	8	15	16911.66
37	Cubeta invertida ¾"	1/4	4 bar	111.35	24	22	58794.12
52	TD ½"	1/8	4 bar	27.84	6	20	3340.58
61	TD ½"	1/8	4 bar	27.84	24	22	14698.53
Faltante, (TD) ½"	EV-702	1/8	12 bar	72.34	24	20	34723.80
Total				380.30			128468.69

Entonces, el costo total de la pérdida de vapor es igual a la pérdida total de vapor en un mes (128468,69 Lb / mes), multiplicada por el costo por libra de vapor (Q 0.10, calculado en el inciso 3.3.3). El costo de la pérdida se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Costo de la pérdida} = 128,468.69 \text{ lb/hr} \times \text{Q. } 0.10/\text{lb} = \text{Q. } 12,846.87$$

$$\underline{\text{Ahorro por eliminación de la pérdida de vapor} = \text{Q. } 12,846.87/\text{mes}}$$

El valor calculado constituye la pérdida potencial de vapor y costo de la misma, estimando que las trampas están fallando completamente abiertas, y descargando a la atmósfera. Por lo general, las trampas termodinámicas fallan a apertura parcial, que nos da una aproximación bastante adecuada.

4.2 Cálculo de ahorro por recuperación de condensado en las líneas de distribución de vapor

La recuperación de condensado es recomendable, debido a que representa un ahorro en los costos de producción, principalmente en combustible (bunker) y productos químicos para el agua de alimentación, sin contar el hecho de que representa además un ahorro en el volumen del agua de reposición para las calderas.

El condensado presenta diferentes ventajas: tiene alto contenido de energía (temperatura mas alta, y por lo tanto menor consumo de combustible para evaporarlo); es agua ya tratada, por lo que tiene bajo contenido de dureza, aire y ácidos dañinos para la caldera. Además, al retornar condensado, se disminuyen las purgas de caldera, con lo cual se tienen menos pérdidas en la generación de vapor.

Actualmente, no existe ninguna trampa de línea, en las tuberías de distribución de vapor, por lo que se obtiene un vapor demasiado saturado a la entrada de los equipos y, por lo tanto, no se puede esperar un eficiente calentamiento de los equipos. La trampa instalada a la entrada de la tubería de vapor al manifold principal, fue eliminada y se colocaron tapones en la línea, en donde está se conectaba al retorno de condensado del tanque de captación.

Todas las trampas de línea se deben instalar con su respectivo bolsillo colector (para captar la mayor cantidad de condensado formado), y además en la parte baja del colector se deja una prolongación para la acumulación de lodos y partículas de suciedad arrastradas dentro de la tubería, lo cual es una primera protección para la trampa; esta prolongación debe ser purgada periódicamente para evitar taponamientos en el filtro de la trampa (segunda protección para la trampa). El bolsillo colector debe ser de un diámetro aproximadamente igual al diámetro de la tubería, en la que esta instalada la trampa.

Otra ventaja que tiene la recuperación de condensado es que en los arranques y paros se forma gran cantidad de condensado, el cual se va al drenaje y debe ser tratada en la planta de tratamiento de aguas (PTA), por lo que se reduce el caudal de agua que va a ser tratada y con esto se da un ahorro en costos.

4.2.1 Cantidad de condensado a recuperar

La cantidad de condensado, formado en los sistemas de distribución de vapor, depende del diámetro, la longitud y la presión a la que se encuentra la tubería de distribución. También depende de cuán frecuentes sean los periodos de arranque y paro del sistema, lo cual hace que el cálculo de la cantidad de condensado formado sea bastante complicado.

Debido a que cuando el sistema se encuentra parado, la temperatura desciende por la transferencia de calor, con lo cual se condensa gran cantidad de vapor, que debe ser evacuado inmediatamente para dejar el sistema listo para el posterior arranque. Durante los periodos de arranque, la diferencia de temperaturas entre el vapor y las superficies del sistema es mayor, lo que da como resultado una tasa de condensación elevada, que de no ser evacuado inmediatamente, se convierte en un aislante que evita el rápido calentamiento de los equipos y aumenta el consumo de vapor de los mismos.

Como se ha mencionado, durante los arranques y paros, se produce la máxima tasa de condensación, y durante el funcionamiento normal o régimen, se produce una tasa constante.

La cantidad de condensado formado se incrementa con la presión a la que es conducido el vapor, y también con su diámetro. Se van instalar 27 trampas de línea, de las cuales 25 son termodinámicas (TD) de ½", instaladas en las líneas de vapor (4 y 12 bar), y 2 son tipo flotador de 1 ¼" instaladas en los manifold principal y de secadoras.

El consumo de saponificación no es siempre al 100%, ya que tienen periodos en los que llegan a picos de consumo de 205 lb/min (12300 lb/hr), y otros en los que se mantienen a un consumo de régimen, igual a 47.8 lb/min (2,868 lb/hr).

Un buen sistema de recuperación de condensado puede retornar un 70% del caudal de vapor generado por las calderas, debido a que cierta cantidad se pierde por la formación de revaporizado, que escapa a la atmósfera. El 70% mencionado incluye la recuperación en las líneas o tuberías de distribución y en los equipos.

En vista de que en el momento no quieren retornar el condensado de los equipos, por temor a que esté contaminado y se pueda causar algún daño en las calderas, se puede estimar que un 30% del caudal máximo será retornado a las calderas (en los picos de consumo), sólo por condensación en las tuberías. Aunque como ya se mencionó, las cantidades pueden ser mayores durante los arranques y paros del sistema.

Valor máximo de consumo de vapor = 12300 lb/hr

Cantidad de condensado formada = porcentaje retornado X caudal máx.

Cantidad formada (lb/hr) = 0.30 X 12300 = 3690 lb/hr

Como: 1 gal/hr = 8,34 lb/hr;

Entonces: *3690 lb/hr x 1/8.34 = 442 gal/hr*

Condensado retornado = 3690 lb/hr = 442 gal/hr; a 96° C (205° F). El valor presentado constituye un estimado de recuperación de condensado en condiciones normales de operación, y puede variar de acuerdo con los picos de consumo que se presenten dentro de la planta, así como también de si son tan frecuentes los arranques y paros.

4.2.2 Ahorro que representa el condensado recuperado

Como ya se mencionó, el retorno de condensado representa ahorro, principalmente en costo de combustible y químicos para el agua de alimentación de las calderas.

a) Se va a calcular primero el ahorro por gastos de combustible

Actualmente se cuenta con una temperatura de agua de reposición de 45° C (113° F), mientras la temperatura del condensado es de 96° C (medido en el tanque 205° F).

$$\text{Ahorro en BTU/hr} = \text{Retorno de cond. (lb/hr)} \times \text{diferencia de Temp.}$$

Donde: Dif. de temp. = Temp. condensado – Temp. agua de reposición

$$\begin{aligned} \text{Ahorro en BTU/hr} &= 3690 \text{ lb/hr} \times (205 - 113)^\circ \text{F} \times 1 \text{ BTU/lb}^\circ\text{F} \\ &= 339480 \text{ BTU/hr} \end{aligned}$$

- $\text{Ahorro en gal/hr} = \frac{\text{ahorro (BTU/hr)} \times \text{eficiencia (\%)}}{\text{Poder calorífico del bunker (BTU/gal)}}$

$$= \frac{339480 \text{ BTU/hr} \times 0.80}{153600 \text{ BTU/gal}} = 1.77 \text{ gal/hr}$$

Entonces, el ahorro es de 1.77 gal/hr, y por lo tanto:

$$\underline{\text{Ahorro gal/mes}} = 1.77 \text{ gal/hr} \times 24 \text{ hr/día} \times 24 \text{ día/mes} = \underline{1019.52 \text{ gal/mes}}$$

- $\text{Ahorro en Q/mes} = \text{ahorro en gal/mes} \times \text{costo bunker (Q/gal)}$

$$= 1019.52 \text{ gal/mes} \times \text{Q } 7.97/\text{Gal.} = \text{Q } 8,125.57/\text{mes}$$

Entonces, el ahorro mensual de combustible que se tiene por retornar condensado a la caldera es de Q 8,125.57/MES.

b) Ahorro en químicos suministrados al agua de alimentación de la caldera:

El condensado constituye aproximadamente un 30% del consumo de agua de reposición, por lo que será el mismo porcentaje el que ya no necesite ser tratado, y su consumo de químicos será casi cero, debido a que sólo necesitara una pequeña aplicación para controlar sus parámetros.

Como se calculó anteriormente, para tratar el agua de alimentación, para generar la cantidad de vapor consumida por saponificación se necesita gastar Q 33464.5 (para agregar los químicos DGTA-012, DGTA-022 y sal de sodio) mensualmente.

Entonces, el ahorro en químicos será aproximadamente igual a:

$$\begin{aligned} \text{Ahorro en químicos} &= \text{costo de químico} \times \% \text{ de agua no tratado} \\ &= \text{Q } 33,464.5/\text{mes} \times 0.3 = \underline{\text{Q } 10,039.35/\text{mes}} \end{aligned}$$

Por lo tanto, el ahorro total por retornar condensado es igual a la suma del ahorro de combustible / mes + ahorro de químicos / mes

$$\text{Ahorro/mes} = \text{Q } 8,125.57/\text{mes} + \text{Q } 10,039.35/\text{mes} = \text{Q } \mathbf{18,164.92/\text{mes}}$$

El ahorro de combustible se puede ampliar, si se calienta con vapor el agua de reposición, a una temperatura mayor de los 45°-50° C, que está siendo suministrada en la actualidad. Se debería tratar de llevar la temperatura del agua de reposición para las calderas a unos 80° C.

4.3 Propuesta de optimización del sistema

Las recomendaciones que se exponen en este apartado tienen como base todos los cálculos realizados anteriormente, y también las observaciones hechas del estado en que se encuentra actualmente el sistema de trampeo de vapor del Departamento de Saponificación. En resumen, se espera un ahorro de Q 31,011.79 mensuales, al efectuar el cambio de trampas fallando abiertas y con la recuperación de condensado; más adelante (al final de los siguientes incisos) se mostrara en detalle el periodo de recuperación de la inversión.

- 1) Cambiar 8 trampas de equipos, que fueron encontradas fallando (abiertas y cerradas), y además las que tienen abierto el by-pass.**

El cambio de estas trampas constituye un ahorro de Q 12,846.87/mes (calculado en el inciso 4.1), ya que las trampas abiertas representan una pérdida de vapor, mientras que las que se encuentran cerradas representan un aumento en el consumo de vapor y una prolongación de tiempos de calentamiento. Los detalles de las trampas que se van a cambiar se presentan más adelante en el inciso 4.3.1.

- 2) Instalar 27 nuevas trampas de línea e implementar un sistema de recuperación de condensado.**

Instalar 27 trampas de línea, tal como se indicó en el inciso 4.2, donde se calculó el ahorro por recuperación de condensado, 25 de las trampas serán ubicadas en los puntos bajos del sistema, cambios de dirección de las tuberías, tramos largos de las mismas y antes de estaciones de control de presión y/o temperatura, que es del tipo termodinámica y de una medida o tamaño de ½" cada una.

Las 2 trampas restantes serán instaladas en el manifold principal propuesto y el manifold de área de secadoras; ambas trampas serán del tipo flotador de un tamaño de 1 ¼”.

Todas estas trampas van a ser instaladas, con el fin de recuperar el condensado formado en el sistema (únicamente líneas) y será retornado a las calderas, con un ahorro relativo en combustible y químicos para el agua de reposición igual a Q 18,164.92/mes, el cual es relativo, ya que por la operación eventual de la mayoría de los equipos, la tasa de condensado puede incrementarse considerablemente, por lo que los parámetros contenidos en el inciso 4.2.2 son calculados en condiciones normales de operación y sólo constituyen un indicativo de lo que puede llegar a ahorrarse con este nuevo sistema de recuperación de condensado, cuyo costo se traslada en oferta adjunta. El detalle de todas las trampas que se van a instalar se muestra en el inciso 4.3.2.

- 3) Luego de cambiar las trampas fallando, se procede a **reemplazar las trampas que están funcionando actualmente, y que de acuerdo con el diagnóstico pueden presentar fugas leves** (ver el inventario general, presentado en el anexo II, al final de este trabajo).

Las posibles fugas leves son indicadas con temperaturas algo elevadas de descarga. Por lo menos el 90% de las trampas no cuentan con válvulas de corte antes y después de la trampa, así como de su válvula cheque. También el 45% carece de filtro, mientras que las que si lo poseen, presentan un escaso mantenimiento (limpieza del filtro).

Cabe recordar que la vida útil de las trampas oscila entre 6 y 8 años (con un mantenimiento adecuado e instaladas con sus accesorios de norma, para mayor protección y facilidad de mantenimiento); sin embargo, la mayoría de las trampas instaladas ya excede este tiempo (con gran falta de mantenimiento), por lo que su rendimiento no es óptimo, y ya presentan fugas leves.

Entonces, se deben cambiar las trampas más antiguas y que, de acuerdo con el diagnóstico, presentan fugas, para lograr una mayor eficiencia del sistema, y así se evita que se pierda la ganancia de rendimiento (eficiencia) que se obtiene al cambiar el manifold principal y la recuperación de condensado de las líneas de distribución.

Como una opción alterna, se instalan los accesorios de norma a las trampas, que no presenten fuga actualmente y darles un adecuado mantenimiento. El cambio se debe hacer de acuerdo con el diagnóstico obtenido, dando prioridad a los equipos más indispensables.

4) Establecer un programa de revisiones periódicas de las trampas.

Así como de mantenimiento del sistema general de vapor, incluye tuberías, trampas, estaciones reductoras de presión y equipos activados por vapor. Con el objetivo de mantener alta la eficiencia del sistema, durante el mayor tiempo posible. La falta de mantenimiento provoca un rápido deterioro del sistema, pues provoca fugas y se incrementa el consumo de vapor, así como los costos de generación de vapor y se reduce la eficiencia del sistema. Lo que interesa fundamentalmente es que el sistema de vapor opere con una eficiencia lo suficientemente alta, para evitar pérdidas energéticas y aprovechar al máximo los recursos.

En la tabla XIX, se presenta un resumen de las recomendaciones hechas en los incisos anteriores, para lograr la optimización del sistema de trampeo de vapor de la Planta de Saponificación de Colgate Palmolive C.A., S.A., que incluye los ahorros que se van a obtener por la implementación de las recomendaciones y el periodo de recuperación de los costos invertidos.

Tabla XIX. Costos y periodo de recuperación de la propuesta

Recomendación	Costo estimado en quetzales	Ahorro Q/mes	Período de recuperación
1. Cambio de trampas encontradas fallando abiertas o cerradas.	Q 97,193.78	Q 12,846.87	8 meses Aprox.
2. Instalación de trampas de línea y sistema de recuperación de condensado.	Q. 328,029.00	Q 18,164.92	18 meses Aprox.
4. Cambio total de trampas en buen estado, que excedan el tiempo de funcionamiento y/o instalación de accesorios de norma.	Q 12,149.22 por cada trampa cambiada	Se recupera con los ahorros obtenidos por el cambio de trampas falladas, y por la ganancia de eficiencia de la planta.	
5. Revisiones periódicas y servicio de mantenimiento preventivo.	Las revisiones se harán utilizando a los operarios y personal de la Planta de Saponificación, por lo que no implica gastos mayores		

4.3.1 Detalle de las trampas instaladas actualmente y que serán cambiadas.

Primero, deben ser instaladas nuevas trampas en los puntos donde se esté trabajando con el by-pass permanentemente abierto, para eliminar las pérdidas de vapor, que se están teniendo por este motivo.

Luego deben cambiarse las trampas que hallan sido encontradas fallando abiertas o cerradas (como ya se mencionó una trampa cerrada es igualmente perjudicial que una trampa abierta, ya que los equipos no calientan adecuadamente y, por lo tanto, hay también pérdidas en la producción).

Por último, se debe ir programando el cambio de las trampas que aparentemente están funcionando (“en buen estado”) actualmente, que como se ha mencionado ya han excedido su vida útil, y por lo tanto, es posible que ya se encuentren presentando fugas leves (recomendaciones hechas en el inventario general sobre el diagnóstico realizado y presentado en el anexo II al final del presente trabajo), debido a que presentan temperaturas algo elevadas en la descarga, por lo que estas pequeñas fugas a la larga constituyen pérdidas importantes de vapor y de dinero.

Además se debe considerar la modificación de la instalación de las trampas en buen estado, que no presentan fuga actualmente (también de acuerdo con el diagnóstico realizado), con el objetivo de colocarles todos sus accesorios de norma (filtros, cheques, mirillas en donde sea necesario y además válvulas de corte), y poderles realizar un adecuado mantenimiento, y así evitar el deterioro de las mismas.

Trampas nuevas que se van a instalar, debido a que se encuentran trabajando con el by-pass permanentemente abierto:

1. Trampa de equipo EV-702, ubicada en el área de evaporación en el primer nivel (ilustrada en la presentación), con tubería de 1/2” de diámetro y una presión de 12 bar. En este punto, fue eliminada la trampa y el vapor es enviado continuamente al drenaje mediante una manguera.

2. Trampa # 37, ubicada al costado derecho de la columna de lavado (perteneciente al intercambiador de calor en la parte superior de la misma) en el área de saponificación continua, la cual se encuentra tapada y tiene permanentemente abierto el by-pass. La trampa es de cubeta, con diámetro de $\frac{3}{4}$ " y 4 bar de presión. (Ilustrada en la presentación).
3. Trampa #61, ubicada a un costado del tanque de condensado (perteneciente al encamisado de la tubería de ácido sulfónico que pasa a un costado del departamento de saponificación), la cual se encuentra tapada y tiene permanentemente abierto el by-pass. La trampa es termodinámica (TD) de $\frac{1}{2}$ " de diámetro y trabaja a una presión de 4 bar.
4. Trampa #23, ubicada a la salida del intercambiador EP-601, frente al tanque ST-912 (Salmuera), la cual es de tipo cubeta, de 1" de diámetro y trabaja con una presión de 4 bar. Esta trampa ya no cierra adecuadamente y además la están trabajando con un by-pass parcialmente abierto.

Ahora se presenta la lista de las trampas que se van a cambiar, debido a que están fallando (abiertas o Cerradas) y que igual reducen la eficiencia de los equipos, incrementan el consumo de vapor y los tiempos de calentamiento de los equipos:

5. Trampa #11(perteneciente al equipo M-801), ubicada en la parte superior del tanque ST-922 en el área de Glicerina en el primer nivel, la trampa es de $\frac{1}{2}$ " del tipo cubeta y trabaja con una presión de 4 bar. Esta trampa está fallando cerrada.

6. Trampa #40, instalada en la tubería distribuidora de vapor ubicada 1 mt. detrás de centrífuga Veronessi (S-403). Esta trampa es termodinámica con filtro incorporado (TD-S), de ½” y trabaja con una presión de 4 bar, que está fallando cerrada.
7. Trampa #41, instalada en el equipo R-409 (NEET SOAP), área de centrífugas y pailas. Esta trampa es de ½”, del tipo termodinámica con filtro incorporado (TD-S), trabaja con 4 bar de presión y presenta la falla cerrada.
8. Trampa #52, instalada en el tanque ST-902 (Sebo crudo), área de tanques exteriores, la cual es del tipo termodinámica (TD) de ½” y trabaja con 4 bar de presión. Esta fallando abierta.

4.3.2 Detalles de la ubicación de nuevas trampas de línea propuestas (sistema de recuperación).

Todas las trampas, descritas a continuación, se refieren a trampas nuevas por instalar en la red de distribución de vapor, exclusivamente en líneas y estaciones reguladoras de presión, con el objetivo de obtener un vapor saturado y seco en el acceso a los equipos, y por lo mismo se recuperaría condensado sano y libre de cualquier contaminante, por productos procesados en la planta de saponificación, con descarga de los purgadores hacia la nueva red de retorno-captación.

A continuación se enumeran todas las nuevas trampas de línea que se van a instalar en la tabla XX.

Tabla XX. Trampas de línea por instalar, pertenecientes el sistema de recuperación de condensado.

No.	Ubicación	Diámetro de la línea (pulgadas)	Presión de la línea (bar)
1	Acceso de vapor al equipo EV-701, área de evaporación en el segundo nivel	1 ½	12
2	Acceso de vapor al equipo EV-702, área de evaporación en el segundo nivel	½	4
3	Acceso de vapor a R-704 glicerina cruda (área de evaporación en el segundo nivel)	½	4
4	Final de línea de 4 bar en el segundo nivel, frente al equipo Deodizador A-201, (segundo nivel, área de tratamiento de grasas)	3	4
5	Final de línea de 12 bar (13 bar). Se encuentra en el primer nivel entre los tanques ST-911 y ST-912, para entrar al equipo A-201. línea no regulada que sale del manifold principal, de 2" de diámetro (reducciones a 1 ½" , luego a 2", y entra al equipo con 3" de diámetro)	2	12
6	Acceso de vapor a deshidratador C-801 (área de destilación en el segundo nivel), en la estación reguladora	1	4
7	Acceso de vapor a M-801 (tratamiento de glicerina, en el segundo nivel)	1	4
8	Manifold secundario ubicado bajo tanques de agua caliente, en el área de tratamiento de grasas en el segundo nivel	1 ½	4
9	Línea de acceso de vapor al manifold principal en el segundo nivel	4	13
10	Línea de vapor de 4 bar, en el punto en donde baja al primer nivel, sobre el tanque ST-920, área de salmuera.	4	4
11	Final de línea que alimenta a tanques de Glicerina (ST-922, ST-923 y ST-924)	1 ½	4
12	Final de línea en el primer nivel, de la tubería que sube a alimentar R-803 (área de destilación, segundo nivel).	2	4

Continuación de la tabla XX. Trampas de línea por instalar, pertenecientes el sistema de recuperación de condensado.

13	Final de línea, de alimentación al intercambiador EP-601 en el área de sublejas y salmueras en el primer nivel	2	4
14	Línea que sale para alimentar los tanques exteriores y descarga de pipas. En la puerta entrada de saponificación continua, en el área del primer nivel, bajo tratamiento de grasas	4	4
15	Línea que alimenta al tanque ST-911, área en el primer nivel de tratamiento de grasas	$\frac{3}{4}$	4
16	Línea sobre a la estación reguladora de presión, que se encuentra fuera de servicio en el área de saponificación continua, frente al equipo R-404	3	4
17	Final de línea, alimentación de equipos frente a equipo R-404 encamisados en el área de saponificación continua	1 $\frac{1}{2}$	4
18	En el punto bajo de la línea, está ubicada frente al saponificador en el área de saponificación continua. Línea no regulada	3	4
19	Punto bajo de la tubería, está ubicada frente al saponificador en el área de saponificación continua. Línea supuestamente regulada, pero ahora la estación reguladora se encuentra fuera de servicio	3	4
20	Línea ubicada en la tubería que alimenta al intercambiador de calor en el área de saponificación continua, frente al Fitting	1 $\frac{1}{2}$	4
21	Acceso a la estación reguladora de presión, que se ubica detrás del equipo ST-908, en el área de centrifugas y pailas	1 $\frac{1}{2}$	4
22	Final de línea, bajo las gradas para subir al mezanine en el área de centrifugas y pailas. Línea de distribución principal.	1 $\frac{1}{2}$	4
23	Final de línea, proveniente de ST-908, bajo gradas para subir a mezanine en el área de centrifugas y pailas.	2	4
24	Línea, que baja sobre la pileta ST-916 (subleja final), en el área de centrifugas y pailas.	3	4
25	Línea que baja del segundo nivel, para alimentar el área de secadoras.	2 $\frac{1}{2}$	4

Por último, se encuentran las trampas 26 y 27, que no se incluyen en la tabla anterior, debido a que no son trampas instaladas en las tuberías de distribución de vapor, sino son trampas instaladas en los manifold principal (segundo nivel) y de 12 bar en el área de secadoras (primer nivel), las cuales serán de 1 ¼" de tipo cubeta o flotador, por ser del tipo de trampa de descarga continua de condensado, tal y como es requerido.

4.4 Programa de mantenimiento del sistema optimizado de vapor

Para asegurar que la eficiencia lograda con la ejecución de las recomendaciones hechas en la propuesta de optimización del sistema de vapor del Departamento de Saponificación no se pierda por falla prematura de las trampas de vapor y demás accesorios del sistema de distribución de vapor, drenaje de condensado de los equipos y sistema de recuperación de condensado, se debe contar con un programa de mantenimiento preventivo, que garantice el máximo aprovechamiento de los equipos y de la vida útil de los mismos.

Para garantizar el correcto funcionamiento de válvulas reductoras, controles de temperatura, trampas y demás equipos, es necesario establecer un plan de mantenimiento periódico. Esto significa la limpieza de los filtros y el reemplazo de las partes internas de los equipos que muestren señales de desgaste.

Es recomendable disponer de un número determinado, recomendado por un proveedor de kits de reparación o piezas de recambio y elementos completos, para poder efectuar un cambio rápido en caso de necesidad. Algunos programas de mantenimiento deben desarrollarse en las paradas programadas, y siempre que sea posible, repartir el trabajo a lo largo del año.

La mayor parte de los elementos sólo necesitan atención una vez al año, si bien los filtros se deben limpiar con más frecuencia, especialmente en instalaciones nuevas o en las que se hayan efectuado reparaciones, o también en el caso de tuberías tan antiguas como la actual, ya que el vapor transporta gran cantidad de óxidos y sedimentos acumulados en las tuberías.

Finalmente, es de utilidad disponer de un historial de los problemas más frecuentes en cada uno de los tipos de trampas, válvulas o equipos en general.

4.4.1 Mantenimiento de trampas de vapor

Un programa de inspecciones y mantenimiento periódico de las trampas de vapor es necesario para asegurar la eficiencia de funcionamiento del sistema de vapor. Por lo regular, unas inspecciones bimestrales del funcionamiento y estado en que se encuentran las trampas, son suficientes para decidir acciones correctivas. A continuación, se describen las principales actividades por realizar en el mantenimiento preventivo bimestral:

- 1) Revisión visual y consulta con los operarios. Revisar que no exista ninguna fuga visible en las trampas o en los accesorios de norma (filtros, cheques, mirillas y válvulas de corte), y con base en esto, decidir las acciones correctivas que se van a efectuar.
- 2) Revisión de las temperaturas de operación de la trampa, mediante el uso de la pistola de termografía infrarroja. Esto es para comprobar el estado de funcionamiento de las trampas, y así hacer el diagnóstico de las mismas.

A continuación, se presenta la tabla XXI, en la que se indica el modo de descarga de cada tipo de trampa; esto sirve de base por si se nota alguna anomalía durante la inspección de las trampas vapor.

Tabla XXI. Características de la descarga de las diferentes trampas para vapor

TRAMPA	CARACTERISTICAS DE LA DESCARGA
Termodinámica	Súbita e intermitente. Cierre total entre descargas.
Termostática de presión balanceada	Súbita e intermitente. Cierre total entre descargas.
Expansión líquida	Descarga continua, cuando las cargas son estacionarias, altas o medias. Tendencia a la descarga súbita, cuando las cargas son pequeñas
Bimetálica	Descarga continua variando según la velocidad de formación de condensado. Tendencia a la descarga súbita, cuando las cargas son pequeñas o muy variables.
Flotador	Descarga continua que varía según la cantidad de condensado que se forma, si bien tienden a tener un funcionamiento pulsante cuando las cargas son pequeñas.
Balde invertido	Súbita e intermitente con cierre total entre descargas, excepto cuando las cargas son pequeñas en que tiene tendencia a gotear

Fuente: Spirax Sarco. **Principios prácticos de conservación de energía.** Pág. 86

La descarga de condensado, por parte de las trampas, se puede observar a través de las mirillas; al detectar fuga mediante el análisis termográfico, se debe hacer uso del kit de reparación de la trampa. Las trampas termodinámicas son fáciles de revisar. Se coloca un lapicero encima, para conocer los ciclos de disparo. 7 a 10 disparos por minutos está bien.

- 3) Revisión de las líneas de distribución de vapor y retorno de condensado, para verificar la existencia de fugas, deterioro del aislamiento térmico, deterioro de accesorios, así como válvulas de corte, de retención, seguridad, etc.

- 4) Drenaje de filtros, por medio de su respectiva válvula y chequeo de los elementos de filtrado, al notar alguna anomalía, después de la apertura de la válvula. Con esto, se evitan los taponamientos y deterioro de las trampas. La malla del filtro se debe sacar cada año y se debe inspeccionar por si necesita cambio.
- 5) Programación de las correcciones necesarias, de acuerdo con los diagnósticos efectuados.

La detección de averías, en las trampas para vapor, se puede verificar mediante el análisis termográfico y mediante las mirillas, tal y como se indico; a continuación se describen posibles síntomas de fallas y la solución para el mismo.

4.4.1.1 Solución de problemas en trampas termodinámicas

a) La trampa pierde vapor

Limpieza de la trampa. Se debe limpiar el filtro, el disco y el asiento. Si no mejora, es probable que se hayan deteriorado las superficies del asiento y el disco. En este caso, se puede mandar la trampa al fabricante, rectificar el asiento y disco, según instrucciones del fabricante o cambiar asiento y disco, si la trampa es de asiento recambiable.

Si la estadística dice que las trampas se desgastan con rapidez, se puede sospechar un sobredimensionamiento o la tubería en que va montada la trampa, tiene diámetro insuficiente o la presión es excesiva.

b) La trampa no descarga condensado

Puede ser debido a un bloqueo por aire, particularmente si el problema es en el arranque. Se debe revisar entonces el venteo del equipo. En casos extremos, se debe considerar la instalación de un eliminador de aire en paralelo con la trampa o utilizar una trampa de flotador y termostático.

4.4.1.2 Solución de problemas en trampas termostáticas de presión balanceada

a) La trampa pierde vapor

Aislar la trampa y dejar que se enfríe, antes de verificar si se ha depositado suciedad en la válvula. Si el asiento se ha erosionado, se deben cambiar todas las partes interiores. Si la válvula y el asiento están en buen estado, hay que verificar el elemento termostático.

Una vez frío, se le puede comprimir; si se observa blandura es señal de que está roto. Si las ondulaciones están algo aplanadas, significa que se ha dañado por golpe de ariete; en este caso, se debe instalar una trampa más robusta.

b) La trampa no descarga condensado

Probablemente el elemento se habrá extendido excesivamente, por una presión muy alta y no puede levantar la válvula de su asiento. Se debe reemplazar la trampa, y si persiste, se debe instalar una más robusta.

4.4.1.3 Solución de problemas en trampas termostáticas de expansión líquida

a) La trampa pierde vapor

Verificar si hay suciedad o erosión en la válvula y asiento. Si hay erosión, se deben cambiar todos los componentes internos.

b) La trampa no descarga condensado

Verificar que el ajuste del cierre no se haya realizado para una temperatura demasiado baja.

4.4.1.4 Solución de problemas en trampas termostáticas bimetalicas

a) La trampa pierde vapor

Como en los otros casos, se debe revisar que no haya suciedad ni erosiones en la válvula. En vista que la presión que puede ejercer el bimetálico es limitada, el esfuerzo no puede ser suficiente para presionar la válvula contra su asiento, si hay suciedad depositada.

b) La trampa no descarga condensado

Las trampas bimetalicas tienen la válvula en el lado de salida, por lo que si a algo tienden es a averiarse en posición de apertura.

4.4.1.5 Solución de problemas en trampas de flotador

a) La trampa pierde vapor

Verificar si hay suciedad que impida el cierre correcto de la válvula o en el termostato. Comprobar que no se ha desalineado la palanca que mueve la válvula, por funcionamiento brusco o golpes de ariete, lo cual puede impedir el cierre correcto. Verificar que el flotador baja hasta su posición inferior, sin rozar con el cuerpo de la trampa, ya que si no es así puede quedar abierta.

b) La trampa no descarga condensado

Verificar que la presión diferencial máxima de funcionamiento, marcada en la placa, no sea inferior a la presión diferencia a la que esta funcionando en realidad. Si el flotador está agujerado o deformado, no flota y la válvula permanece cerrada.

4.4.1.6 Solución de problemas en trampas de balde invertido

a) La trampa pierde vapor

Comprobar que no se haya perdido el sello de agua. Aislar la trampa, esperar que se acumule condensado y ponerla de nuevo en servicio. Si funciona bien, se debe buscar el origen de la pérdida de sello.

Puede ser debido a vapor sobrecalentado, fluctuaciones de presión o una defectuosa instalación de la trampa, que permite al condensado salir por gravedad.

b) La trampa no descarga condensado

Comprobar que la presión diferencial máxima marcada en la placa no es inferior a la de servicio. Verificar que el orificio de eliminación de aire no esté obstruido, porque se produciría bloqueo por aire.

4.4.2 Mantenimiento de estaciones reductoras de presión.

Las estaciones reguladoras deben ser revisadas periódicamente, para garantizar su funcionamiento óptimo en la reducción de la presión de trabajo a la presión de servicio, por lo que se deben chequear filtros, válvulas de seguridad, y calibración de la válvula reductora, de acuerdo con los siguientes chequeos:

- 1) Chequeo visual y consulta con los operarios. Revisar que no exista ninguna fuga visible en las trampas o en los accesorios de norma (filtros, cheques, mirillas y válvulas de corte), y con eso se deciden las acciones correctivas que se van a efectuar.
- 2) Calibración a intervalos de cada tres meses de los manómetros de presión de servicio (alta presión) y de presión de trabajo (presión reducida), para verificar que la válvula reductora este cumpliendo su función. Si hay variación en la presión de trabajo, se debe calibrar nuevamente la válvula reductora de presión.
- 3) Revisión del funcionamiento y presión calibración de las válvulas de seguridad a intervalos de cada 6 meses (2 veces por año), o cuando mínimo una vez al año.

- 4) Revisión de las líneas de distribución de vapor, para verificar la existencia de fugas, deterioro del aislamiento térmico, deterioro de accesorios y válvulas de corte, válvulas de retención, válvulas de control de presión, válvulas de seguridad, etc.
- 5) Drenaje de filtros por medio de su respectiva válvula y chequeo de los elementos de filtrado, al notar alguna anomalía después de la apertura de la válvula. A intervalos de cada dos meses o más frecuentes, si se observa demasiada suciedad. Con esto, se evitan los taponamientos y deterioro de las trampas. La malla del filtro se debe sacar cada año y se debe inspeccionar, por si necesitara cambio.
- 6) Programación de las correcciones necesarias, de acuerdo con los diagnósticos efectuados.

4.4.3 Mantenimiento del sistema de recuperación de condensado

- 1) Revisión visual y consulta con los operarios. Revisar que no haya ninguna fuga visible en las trampas o en los accesorios de norma (filtros, cheques, mirillas y válvulas de corte), y con esto, decidir las acciones correctivas que se van a efectuar.
- 2) Revisión bimensual de las tuberías de retorno de condensado, manifold colector y tanque de almacenamiento, para verificar la existencia de fugas, deterioro del aislamiento térmico, deterioro de accesorios de bombeo, válvulas de corte y de retención, etc.

- 3) Drenaje de filtros, por medio de su respectiva válvula y revisión de los elementos de filtrado, al notar alguna anomalía después de la apertura de la válvula. El drenado deberá ser tan frecuente como sea requerido. Con esto, se evitan los taponamientos y deterioro de las trampas. La malla del filtro se debe sacar cada año y se debe inspeccionar, por si necesita cambio.
- 4) Revisión anual del set de bombeo, así como de sus válvulas de retención, suministro de vapor y deterioro del flotador y elementos internos de la bomba.
- 5) Programación de las correcciones necesarias, de acuerdo con los diagnósticos efectuados.

CONCLUSIONES

1. El vapor es un fluido versátil que se utiliza para transportar cantidades importantes de energía, y para que su utilización sea eficiente, éste debe ceder todo su calor latente en la transferencia hacia el producto; el condensado debe ser drenado, tan pronto como se forme, debido a que junto con el aire constituyen las principales barreras a la transferencia de calor, y con eso reducen la eficiencia de los equipos.
2. Las trampas de vapor fallando (abiertas o cerradas) son la principal causa de un mayor consumo de vapor, mayores tiempos de calentamiento y pérdida de eficiencia en los equipos de calentamiento por vapor. Por tanto, deben revisarse periódicamente y no debe ser postergada su reparación, cuando sea requerida, para lograr que los procesos productivos sean realmente rentables.
3. La Planta de Saponificación consume actualmente un 80% del vapor producido. La instalación actual tiene aproximadamente 20 años de servicio, y debido a la falta de mantenimiento, se encuentran trampas fallando (abiertas o cerradas); también se observa falta de trampas de línea, que garanticen el suministro de vapor seco a los equipos. Además, la incorrecta instalación de los sistemas de trampeo de vapor, hace que su vida útil sea reducida. Por lo tanto, se determinó que para lograr una optimización del sistema, primero se deben cambiar las trampas que se encuentran fallando abierta o cerradas, posteriormente se instalan trampas de línea y se reactiva el sistema de recuperación de condensado.

4. La recuperación de condensado es de vital importancia, para generar ahorros en consumo de combustible (representa aproximadamente el 80% de los costos de generación de vapor), ahorros en consumo de agua de reposición y tratamiento químico, para controlar los parámetros físico-químicos del agua (dureza, alcalinidad, PH y oxígeno, principalmente).

5. El cambio de trampas, que se encuentran fallando abiertas (fuga de vapor) y los ahorros generados debido a la recuperación de condensado, fueron estimados en Q 31,011.79 mensuales y se espera un periodo de recuperación de 18 meses.

RECOMENDACIONES

1. Se debe realizar, por lo menos dos veces por año, el diagnóstico de las trampas de vapor, para garantizar el máximo rendimiento del sistema, reducir las pérdidas de vapor y generar ahorros en el sistema de vapor en general.
2. Hay que iniciar inmediatamente un programa de recuperación de condensado, con el objetivo de retornar hacia las calderas, hasta un 70% del condensado formado en las líneas de distribución de vapor y equipos de calentamiento por vapor, con lo que se lograrán grandes ahorros de combustible, agua de reposición y químicos para tratamiento del agua.
3. En consecuente aplicar el programa de recuperación de condensado a todas las plantas consumidoras de vapor, que si bien es cierto que en la Planta de Saponificación se tiene el mayor consumo de vapor (aproximadamente el 80% del total generado), la recuperación de condensado en el resto de plantas representa una inversión rentable.
4. Después de implementar el cambio de trampas de vapor fallando (abiertas y cerradas), así como el sistema de recuperación de condensado, se debe proseguir con el cambio de trampas, que se encuentran actualmente con síntomas de posible fuga leve. Además, es imperativa la necesidad de analizar el cambio total del sistema de distribución del vapor, debido a que, como se puso constatar, el sistema actual tiene demasiado tiempo de servicio y presenta fugas y daño en las tuberías, por lo que este sistema resulta ineficaz e inseguro, y no garantiza la máxima eficiencia estimada.

5. Para garantizar que el sistema ya optimizado opere con la eficiencia que se tiene prevista en el presente estudio y poder lograr los ahorros estimados, se debe implementar el programa de mantenimiento sugerido, con el objetivo de lograr la máxima vida útil de los sistemas de trampeo de vapor y de recuperación de condensado, y además, se debe mantener la eficiencia de los mismos lo más alta posible, para que los costos de generación de vapor se mantengan a niveles que sean realmente rentables, y permitan a Colgate Palmolive C.A., S.A. ser competitiva en un mercado globalizado.

BIBLIOGRAFÍA

1. Marks. **Manual del ingeniero mecánico**. 8^a ed. (volúmenes 1). México: Editorial McGraw-Hill, 1995. 1285 pp.
2. Rosaler E., Robert. **Manual de mantenimiento Industrial**. (volumen 2) México: Editorial McGraw-Hill, 1995. 1400 pp.
3. Severns, William H. **La producción de energía mediante vapor de agua, aire y gases**. España: Editorial Reverté, 1990. 560 pp.
4. Spirax Sarco. **Catalogo de productos** Colombia: Editorial Spirax Sarco Regional Engineer, 1994. 95 pp.
5. Spirax Sarco. **Design of fluid system (hook-up)**. Estados Unidos: Editorial Spirax Sarco inc, 2000. 160 pp.
6. Spirax Sarco. **Design of fluid system (steam utilization)**. Estados Unidos: Editorial Spirax Sarco inc, 2000. 66 pp.
7. Spirax Sarco. **Instalación correcta de las trampas para vapor**. Colombia: Editorial Spirax Sarco Regional Engineer, 1992. 95 pp.
8. Spirax Sarco. **Las trampas para vapor y la eliminación del condensado**. Colombia: Editorial Spirax Sarco Regional Engineer, 1990. 95 pp.
9. Spirax Sarco. **Principios básicos de la ingeniería del vapor**. Colombia: Editorial Spirax Sarco Regional Engineer, 1992. 95 pp.
10. Spirax Sarco. **Técnicas prácticas de conservación de energía en sistemas que utilizan vapor** Colombia: Editorial Spirax Sarco Regional Engineer, 1995. 95 pp.

Anexo 1. Tabla XXII. Tablas de vapor saturado en sistema internacional

Presión Manométrica bar	Presión Absoluta bar	Temperatura °C	Entalpía Específica			Volumen Específico Vapor (Vg) m ³ /kg
			Agua (hf) kJ/kg	Evaporación (hfg) kJ/kg	Vapor (hg) kJ/kg	
	0,05	32,88	137,8	2423,7	2561,5	28,192
	0,10	45,81	191,8	2392,8	2584,6	14,674
	0,15	53,97	225,9	2373,1	2599,0	10,022
	0,20	60,06	251,4	2358,3	2609,7	7,649
	0,25	64,97	271,9	2346,3	2618,2	6,204
	0,30	69,10	289,2	2336,1	2625,3	5,229
	0,35	72,70	304,3	2327,2	2631,5	4,530
	0,40	75,87	317,6	2319,2	2636,8	3,993
	0,45	78,70	329,7	2312,0	2641,7	3,580
	0,50	81,33	340,5	2305,4	2645,9	3,240
	0,55	83,72	350,5	2299,3	2649,8	2,964
	0,60	85,94	359,9	2293,6	2653,5	2,732
	0,65	88,01	368,6	2288,3	2656,9	2,535
	0,70	89,95	376,7	2283,3	2660,0	2,365
	0,75	91,78	384,4	2278,6	2663,0	2,217
	0,80	93,50	391,7	2274,1	2665,8	2,087
	0,85	95,14	398,6	2269,8	2668,4	1,972
	0,90	96,71	405,2	2265,7	2670,9	1,869
	0,95	98,20	411,4	2261,8	2673,2	1,777
	1,00	99,63	417,5	2258,0	2675,5	1,694
0	1,013	100,00	419,0	2257,0	2676,0	1,673
0,05	1,063	101,40	424,9	2253,3	2678,2	1,601
0,10	1,113	102,66	430,2	2250,2	2680,4	1,533
0,15	1,163	103,87	435,6	2246,7	2682,3	1,471
0,20	1,213	105,10	440,8	2243,4	2684,2	1,414
0,25	1,263	106,26	445,7	2240,3	2686,0	1,361
0,30	1,313	107,39	450,4	2237,2	2687,6	1,312
0,35	1,363	108,50	455,2	2234,1	2689,3	1,268
0,40	1,413	109,55	459,7	2231,3	2691,0	1,225
0,45	1,463	110,58	464,1	2228,4	2692,5	1,186
0,50	1,513	111,61	468,3	2225,6	2693,9	1,149
0,55	1,563	112,60	472,4	2223,1	2695,5	1,115
0,60	1,613	113,56	476,4	2220,4	2696,8	1,083
0,65	1,663	114,51	480,2	2217,9	2698,1	1,051
0,70	1,713	115,40	484,1	2215,4	2699,5	1,024
0,75	1,763	116,28	487,9	2213,0	2700,9	0,997
0,80	1,813	117,14	491,6	2210,5	2702,1	0,971
0,85	1,863	117,96	495,1	2208,3	2703,4	0,946
0,90	1,913	118,80	498,9	2206,6	2704,5	0,923
0,95	1,963	119,63	502,2	2205,5	2705,7	0,901
1,00	2,013	120,42	505,6	2204,1	2706,7	0,881
1,05	2,063	121,21	508,9	2199,1	2708,0	0,860
1,10	2,113	121,96	512,2	2197,0	2709,2	0,841
1,15	2,163	122,73	515,4	2195,0	2710,4	0,823
1,20	2,213	123,46	518,7	2192,8	2711,5	0,806
1,25	2,263	124,18	521,6	2190,7	2712,3	0,788
1,30	2,313	124,90	524,6	2188,7	2713,3	0,773
1,35	2,363	125,59	527,6	2186,7	2714,3	0,757
1,40	2,413	126,28	530,5	2184,8	2715,3	0,743
1,45	2,463	126,96	533,3	2182,9	2716,2	0,728
1,50	2,513	127,62	536,1	2181,0	2717,1	0,714
1,55	2,563	128,26	538,9	2179,1	2718,0	0,701
1,60	2,613	128,89	541,6	2177,3	2718,9	0,689

Continuación de anexo 1.

Presión Mano- métrica bar	Presión Absoluta bar	Temperatura °C	Entalpía Específica			Volumen Específico Vapor (Vg) m ³ /kg
			Agua (hf) kJ/kg	Evaporación (hfg) kJ/kg	Vapor (hg) kJ/kg	
1,65	2,663	129,51	544,4	2175,5	2719,9	0,677
1,70	2,713	130,13	547,1	2173,7	2720,8	0,665
1,75	2,763	130,75	549,7	2171,9	2721,6	0,654
1,80	2,813	131,37	552,3	2170,1	2722,4	0,643
1,85	2,863	131,96	554,8	2168,3	2723,1	0,632
1,90	2,913	132,54	557,3	2166,7	2724,0	0,622
1,95	2,963	133,13	559,8	2165,0	2724,8	0,612
2,00	3,013	133,69	562,2	2163,3	2725,5	0,603
2,05	3,063	134,25	564,6	2161,7	2726,3	0,594
2,10	3,113	134,82	567,0	2160,1	2727,1	0,585
2,15	3,163	135,36	569,4	2158,5	2727,9	0,576
2,20	3,213	135,88	571,7	2156,9	2728,6	0,568
2,25	3,263	136,43	574,0	2155,3	2729,3	0,560
2,30	3,313	136,98	576,3	2153,7	2730,0	0,552
2,35	3,363	137,50	578,5	2152,2	2730,7	0,544
2,40	3,413	138,01	580,7	2150,7	2731,4	0,536
2,45	3,463	138,53	582,8	2149,2	2732,0	0,529
2,50	3,513	139,02	585,0	2147,6	2732,6	0,522
2,55	3,563	139,52	586,9	2146,3	2733,2	0,515
2,60	3,613	140,00	589,2	2144,7	2733,9	0,509
2,65	3,663	140,48	591,3	2143,3	2734,6	0,502
2,70	3,713	140,96	593,3	2141,9	2735,2	0,496
2,75	3,763	141,44	595,3	2140,5	2735,8	0,489
2,80	3,813	141,92	597,4	2139,0	2736,4	0,483
2,85	3,863	142,40	599,4	2137,6	2737,0	0,477
2,90	3,913	142,86	601,4	2136,1	2737,5	0,471
2,95	3,963	143,28	603,3	2134,8	2738,1	0,466
3,00	4,013	143,75	605,3	2133,4	2738,7	0,461
3,10	4,113	144,67	609,1	2130,7	2739,8	0,451
3,20	4,213	145,46	612,9	2128,1	2741,0	0,440
3,30	4,313	146,36	616,4	2125,5	2741,9	0,431
3,40	4,413	147,20	620,0	2122,9	2742,9	0,422
3,50	4,513	148,02	623,6	2120,3	2743,9	0,413
3,60	4,613	148,84	627,1	2117,8	2744,9	0,405
3,70	4,713	149,64	630,6	2115,3	2745,9	0,396
3,80	4,813	150,44	634,0	2112,9	2746,9	0,389
3,90	4,913	151,23	637,3	2110,5	2747,8	0,381
4,00	5,013	151,96	640,7	2108,1	2748,8	0,374
4,10	5,113	152,68	643,9	2105,7	2749,6	0,367
4,20	5,213	153,40	647,1	2103,5	2750,6	0,361
4,30	5,313	154,12	650,2	2101,2	2751,4	0,355
4,40	5,413	154,84	653,3	2098,9	2752,2	0,348
4,50	5,513	155,55	656,3	2096,7	2753,0	0,342
4,60	5,613	156,24	659,3	2094,5	2753,8	0,336
4,70	5,713	156,94	662,3	2092,3	2754,6	0,330
4,80	5,813	157,62	665,2	2090,2	2755,4	0,325
4,90	5,913	158,28	668,1	2088,1	2756,2	0,320
5,00	6,013	158,92	670,9	2086,0	2756,9	0,315
5,10	6,113	159,56	673,7	2083,9	2757,6	0,310
5,20	6,213	160,20	676,5	2081,8	2758,3	0,305
5,30	6,313	160,82	679,2	2079,8	2759,0	0,301
5,40	6,413	161,45	681,9	2077,8	2759,7	0,296
5,50	6,513	162,08	684,6	2075,7	2760,3	0,292

Continuación anexo 1.

Presión Manométrica bar	Presión Absoluta bar	Temperatura °C	Entalpía Específica			Volúmen Específico Vapor (Vg) m ³ /kg
			Agua (hf) kJ/kg	Evaporación (hfg) kJ/kg	Vapor (hg) kJ/kg	
5,60	6,613	162,68	687,2	2073,8	2761,0	0,288
5,70	6,713	163,27	689,8	2071,8	2761,6	0,284
5,80	6,813	163,86	692,4	2069,9	2762,3	0,280
5,90	6,913	164,46	695,0	2067,9	2762,9	0,276
6,00	7,013	165,04	697,5	2066,0	2763,5	0,272
6,10	7,113	165,60	700,0	2064,1	2764,1	1,269
6,20	7,213	166,16	702,5	2062,3	2764,8	0,265
6,30	7,313	166,73	705,0	2060,4	2765,4	0,261
6,40	7,413	167,29	707,4	2058,6	2766,0	0,258
6,50	7,513	167,83	709,7	2056,8	2766,5	0,255
6,60	7,613	168,38	712,1	2055,0	2767,1	0,252
6,70	7,713	168,89	714,5	2053,1	2767,6	0,249
6,80	7,813	169,43	716,8	2051,3	2768,1	0,246
6,90	7,913	169,95	719,1	2049,5	2768,6	0,243
7,00	8,013	170,50	721,4	2047,7	2769,1	0,240
7,10	8,113	171,02	723,6	2046,1	2769,7	0,237
7,20	8,213	171,53	725,9	2044,3	2770,2	0,235
7,30	8,313	172,03	728,1	2042,6	2770,7	0,232
7,40	8,413	172,53	730,4	2040,8	2771,2	0,229
7,50	8,513	173,02	732,5	2039,2	2771,7	0,227
7,60	8,613	173,50	734,7	2037,5	2772,2	0,224
7,70	8,713	174,00	736,8	2035,9	2772,7	0,222
7,80	8,813	174,46	738,9	2034,2	2773,1	0,219
7,90	8,913	174,93	741,0	2032,6	2773,6	0,217
8,00	9,013	175,43	743,1	2030,9	2774,0	0,215
8,10	9,113	175,88	745,2	2029,3	2774,5	0,212
8,20	9,213	176,37	747,2	2027,6	2774,8	0,210
8,30	9,313	176,83	749,3	2026,1	2775,4	0,208
8,40	9,413	177,27	751,3	2024,5	2775,8	0,206
8,50	9,513	177,75	753,3	2022,9	2776,2	0,204
8,60	9,613	178,20	755,3	2021,3	2776,6	0,202
8,70	9,713	178,64	757,2	2019,7	2776,9	0,200
8,80	9,813	179,08	759,2	2018,2	2777,4	0,198
8,90	9,913	179,53	761,1	2016,6	2777,7	0,196
9,00	10,013	179,97	763,0	2015,1	2778,1	0,194
9,10	10,113	180,41	765,0	2013,5	2778,5	0,192
9,20	10,213	180,83	766,9	2012,0	2778,9	0,191
9,30	10,313	181,26	768,7	2010,5	2779,2	0,189
9,40	10,413	181,68	770,6	2009,0	2779,6	0,187
9,50	10,513	182,10	772,5	2007,5	2780,0	0,185
9,60	10,613	182,51	774,4	2006,0	2780,4	0,184
9,70	10,713	182,91	776,2	2004,5	2780,7	0,182
9,80	10,813	183,31	778,0	2003,1	2781,1	0,181
9,90	10,913	183,72	779,8	2001,6	2781,4	0,179
10,00	11,013	184,13	781,6	2000,1	2781,7	0,177
10,20	11,213	184,92	785,1	1997,3	2782,4	0,174
10,40	11,413	185,68	788,6	1994,4	2783,0	0,172
10,60	11,613	186,49	792,1	1991,6	2783,7	0,169
10,80	11,813	187,25	795,5	1988,8	2784,3	0,166
11,00	12,013	188,02	798,8	1986,0	2784,8	0,163
11,20	12,213	188,78	802,3	1983,2	2785,5	0,161
11,40	12,413	189,52	805,5	1980,5	2786,0	0,158
11,60	12,613	190,24	808,8	1977,8	2786,6	0,156

Continuación anexo 1.

Presión Mano- métrica bar	Presión Absoluta bar	Temperatura °C	Entalpía Específica			Volumen Específico Vapor (Vg) m ³ /kg
			Agua (hf) kJ/kg	Evaporación (hfg) kJ/kg	Vapor (hg) kJ/kg	
27,00	28,013	230,14	990,7	1813,3	2804,0	0,0714
28,00	29,013	232,05	999,7	1804,4	2804,1	0,0689
29,00	30,013	233,93	1008,6	1795,6	2804,2	0,0666
30,00	31,013	235,78	1017,0	1787,0	2804,1	0,0645
31,00	32,013	237,55	1025,6	1778,5	2804,1	0,0625
32,00	33,013	239,28	1033,9	1770,0	2803,9	0,0605
33,00	34,013	240,97	1041,9	1761,8	2803,7	0,0587
34,00	35,013	242,63	1049,7	1753,8	2803,5	0,0571
35,00	36,013	244,26	1057,7	1745,5	2803,2	0,0554
36,00	37,013	245,86	1065,7	1737,2	2802,9	0,0539
37,00	38,013	247,42	1072,9	1729,5	2802,4	0,0524
38,00	39,013	248,95	1080,3	1721,6	2801,9	0,0510
39,00	40,013	250,42	1087,4	1714,1	2801,5	0,0498
40,00	41,013	251,94	1094,6	1706,3	2800,9	0,0485
42,00	43,013	254,74	1108,6	1691,2	2799,8	0,0461
44,00	45,013	257,50	1122,1	1676,2	2798,2	0,0441
46,00	47,013	260,13	1135,3	1661,6	2796,9	0,0421
48,00	49,013	262,73	1148,1	1647,1	2795,2	0,0403
50,00	51,013	265,26	1160,8	1632,8	2793,6	0,0386

Fuente: Spirax Sarco. **Curso de principios básicos de la ingeniería del vapor.** Pág. 20

Anexo 2. Tabla XXIII. Inventario general de trampas, diagnóstico y observaciones

No.	Dia. Plg.	PRESIÓN BAR	TIPO	DIAGNÓSTICO temperatura antes, en el cuerpo y después de la trampa en grados Fahrenheit (centígrados)	RECOMENDACIONES DEL DIAGNÓSTICO
1	1/2	4	Cubeta invertida	320-326-229 (160-163-109) Funcionando	El diferencial entre la entrada y salida es amplio y es muy probable que esté pasando un mínimo de vapor que eleve a 109 °C la Temp. de salida. Se recomienda mantenimiento. Si no tienen kits de reposición, se recomienda B1H ó FT14 SxS
2	1/2	4	TD-S	F/S ocasionalmente	
3	1/2	12	TD-S	435-398-278 (224-203-137) Funcionando	Es muy factible que presente fuga; 137 °C es una temperatura alta de salida en la trampa. Las termodinámicas son fáciles de revisar, si se coloca un lapicero encima, se pueden conocer los ciclos de disparo. 7 a 10 disparos por minutos esta bien. Hay que estar revisando periódicamente y si persiste, se recomienda el cambio. Por ser de un separador, no se recomienda una termodinámica, sino que una trampa mecánica.
4	1	4	Cubeta invertida	F/S ocasionalmente	
5	1/2	4	TD-S	Tapada, ya no trabaja	
6	1/2	12 Y 4	TD-S	380-338-228 (190-170-109) Funcionando	No es la mejor aplicación para un separador de humedad. Se sugiere el cambio por una mecánica.
7	1/2	4	TD-S	F/S ocasionalmente	
8	1/2	4	TD-S	F/S ocasionalmente	
9	1/2	4	TD-S	F/S ocasionalmente	
10	1/2	4	TD-S	F/S ocasionalmente	
11	1/2	4	Cubeta invertida	170-180-220 (76-82-104) Cerrada	El cabezal de retorno puede estar presurizado. Si la trampa tiene 76 °C en la entrada, es probable que esté bloqueada. Se recomienda cambio.
12	1/2	12	TD-S	240-242-220 (115-116-104) Funcionando	Es una temperatura baja (115 °C), para ser la entrada de vapor; probablemente sea de baja presión. Las trampas termodinámicas, debido a su principio de operación (velocidad), se sugieren para presiones de vapor superiores a 40 psig. Se recomienda mantenimiento (limpieza).

Continuación anexo 2.

13	3/4	12	TD	415-390-230 (221-199-110) Funcionando	La temperatura de salida está bien. Revisar los ciclos de disparo periódicamente. Es posible que tenga un ligero escape.
14	1	4	TD	F/S ocasionalmente	
15	1/2	4	TD-S	Tapada, ya no trabaja	
16	1/2	4	TD-S	Tapada, ya no trabaja	
17	3/4	4	Flotador	F/S ocasionalmente	
18	1 1/4	12	Cubeta invertida	430-442-291 (221-228-144) Funcionando	La carga de condensado es alta. Entonces la trampa de BI estará operando con descargas continuas que hacen elevar la Temp. en la salida. Esta trampa pertenece al equipo A-201, el cual cuenta con 4 serpentines; se recomienda analizar la posibilidad de independizar cada serpentín, para mejorar el rendimiento del equipo.
19	1/2	4	TD-S	Tapada, ya no trabaja	
20	1/2	4	TD-S	225-240-220 (107-115-104) Funcionando	Los trazadores de vapor presentan muchos problemas de bloqueo. Si es necesario, el trazador se debe realizar mantenimiento (limpieza). Si son varios trazadores a una trampa, se recomienda independizar trazador con trampa, tomando en cuenta la presión mínima para las TD.
21	1/2	4	TD-S	F/S ocasionalmente	
22	1 1/2	12	Flotador	296-290-260 (147-143-127) Funcionando	La trampa flotador es la más difícil de revisar. Se recomienda el mto. y revisión de los elementos internos. También puede deberse a la mala ubicación de la cheque, junto con una apertura del by-pass, y si persiste, se recomienda el cambio.
23	1	4	Cubeta invertida	230-232-231 (110-111-110) Abierta	Es una Temp. baja para ser fuga, aunque debido a que supuestamente tiene regulada la presión, puede ser que esté fallando abierta. También presenta una válvula de by-pass parcialmente abierta, lo que indica que la trampa puede también estar fallando cerrada. Se podría recomendar la limpieza de elementos internos, pero debido a que ya esta muy deteriorada, es preferible el cambio completo.

Continuación anexo 2.

24	3/4	4	Flotador	F/S ocasionalmente	
25	3/4	4	Flotador	F/S ocasionalmente	
26	1/2	4	Cubeta invertida	F/S ocasionalmente	
27	1/2	4	Cubeta invertida	F/S ocasionalmente	
28	1/2	4	TD-S	Tapada, ya no trabaja	
29	1/2	4	TD-S	Tapada, ya no trabaja	
30	1/2	4	TD-S	Tapada, ya no trabaja	
31	3/4	4	Cubeta invertida	342-325-250 (172-163-121) Funcionando	Se recomienda mantenimiento
32	1/2	4	TD-S	300-325-240 (149-163-115) Funcionando	Limpieza y si persiste el problema hay que reemplazar
33	1/2	4	TD-S	F/S ocasionalmente	
34	3/4	4	Cubeta invertida	Tapada, ya no trabaja	Analizar, si es necesaria esta trampa; si lo es, se recomienda el cambio.
35	1/2	4	TD-S	F/S ocasionalmente	
36	1/2	4	TD-S	Tapada, ya no trabaja	
37	3/4	4	Cubeta invertida	Tapada, ya no trabaja abierto el by-pass	Se recomienda cambio de la trampa.
38	1/2	4	TD-S	Tapada, ya no trabaja	
39	3/4	4	Cubeta invertida	245-223-204 (118-106-96) Funcionando	OK. Hacer mantenimiento a la trampa.
40	1/2	4	TD-S	200-204-202 (93- 96-94) Cerrada	Bloqueada. Se recomienda cambio, porque ya esta muy deteriorada.

Continuación anexo 2.

41	1/2	4	TD-S	120-105-105 (49-40-40)No trabaja	Bloqueada. Se recomienda cambio.
42	1/2	4	TD-S	342-320-245 (172-160-118) Funcionando	Reemplazar por TD. Puede estar presentando una fuga leve.
43	1/2	4	TD-S	340-230-230 (171-110-110) Funcionando	OK. Hacer mantenimiento a la trampa.
44	1	12	TD	440-315-230 (227-157-110) Funcionando	Ajustar tapa, o cambiar por una de flotador, ya que la termodinámica no es muy adecuada, para evacuar las altas cargas de condensado que se producen durante los arranques y paros.
45	1	8	TD	360-270-240 (182-132-115) Funcionando	OK. Hacer Mantenimiento a la trampa.
46	1	8	TD	348-310-263 (175-154-128) Funcionando	OK. Hacer Mantenimiento a la trampa.
47	1	8	TD	265-250-240 (129-121-115) Funcionando	Comprobar si es el colector de condensados que está presurizado, ya que la temperatura de descarga es algo alta, si no, es muy factible que esté presentando una leve fuga.
48	1/2	8	TD	235-235-203 (113-113-95) Funcionando	OK. Hacer Mantenimiento a la trampa.
49	1	8	TD	F/S ocasionalmente	
50	1/2	4	TD	No esta haciendo nada, ya que la válvula de paso hacia la regulación y la trampa está cerrada	
51	1/2	4	TD-S	280-280-238 (138-138-114) Funcionando	Las termodinámicas no aplican para tanques de calentamiento. Solo se pueden utilizar si se considera una trampa termostática en paralelo, que les ayude en los arranques, y luego con cargas ligeras trabaje la TD
52	1/2	4	TD	218-212-220 (103-100-104) abierta	Realizar el cambio de la trampa
53	1/2	4	TD-S	F/S ocasionalmente	
54	1/2	4	TD-S	F/S ocasionalmente	

Continuación anexo 2.

55	1/2	4	TD-S	F/S ocasionalmente	
56	1/2	4	TD-S	F/S ocasionalmente	
57	1/2	4	TD-S	F/S ocasionalmente	
58	1/2	4	TD-S	F/S ocasionalmente	
59	1	4	Cubeta invertida	F/S ocasionalmente	
60	1	4	Cubeta invertida	Ya no trabaja	
61	1/2	4	TD	Ya no trabaja	Se recomienda cambio de la trampa.

Anexo 3. Tabla XXIV. Guía de selección de trampas de vapor

As the USA's leading provider of steam system solutions, Spirax Sarco recognizes that no two steam trapping systems are identical. Because of the wide array of steam trap applications with inherently different characteristics, choosing the correct steam trap for optimum performance is difficult. Waterhammer, superheat, corrosive condensate, or other damaging operating characteristics dramatically affect performance of a steam trap. With over 80 years of experience in steam technology, Spirax Sarco is committed to helping its customers design, operate and maintain an efficient steam system. You have our word on it!

Application	1st Choice						2nd Choice					
	Float & Thermostatic	Thermo-Dynamic*	Balanced Pressure	Bimetallic	Liquid Expansion	Inverted Bucket	Float & Thermostatic	Thermo-Dynamic*	Balanced Pressure	Bimetallic	Liquid Expansion	Inverted Bucket
Steam Mains												
to 30 psig	✓											✓
30-400 psig		✓										✓
to 600 psig		✓										✓
to 900 psig		✓										✓
to 2000 psig		✓										✓
with Superheat		✓							✓			
Separators	✓											✓
Steam Tracers		✓						✓				
Critical												
Non-Critical			✓					✓				
Heating Equipment												
Shell & Tube Heat Exchangers	✓											✓*
Heating Coils	✓											✓*
Unit Heaters	✓											✓*
Plate & Frame Heat Exchangers	✓											✓*
Radiators			✓									
General Process Equipment												
to 30 psig	✓											✓*
to 200 psig	✓											✓*
to 465 psig	✓											✓*
to 600 psig						✓						
to 900 psig						✓						
to 2000 psig						✓						
Hospital Equipment												
Autoclaves	✓							✓				
Sterilizers	✓							✓				
Fuel Oil Heating												
Bulk Storage Tanks			✓				✓					
Line Heaters	✓											
Tanks & Vats												
Bulk Storage Tanks			✓				✓					
Process Vats	✓							✓				
Vulcanizers		✓					✓					
Evaporators	✓											✓
Reboilers	✓											✓
Rotating Cylinders	✓											✓
Freeze Protection					✓							

* With the addition of thermostatic air vent device

Fuente: Spirax Sarco. **Design of fluid Systems (steam utilizations).** Pág. 85