



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

## **BENEFICIOS EN SISTEMAS DE VAPOR POR MEDIO DE UNA CORRECTA INSTALACIÓN Y SELECCIÓN DE TRAMPAS**

**Selvin Manuel Ovando Roca**

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

**Guatemala, octubre de 2007**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**BENEFICIOS EN SISTEMAS DE VAPOR POR MEDIO DE UNA  
CORRECTA INSTALACIÓN Y SELECCIÓN DE TRAMPAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**SELVIN MANUEL OVANDO ROCA**  
ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

<b>DECANO</b>	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
<b>VOCAL I</b>	Inga. Glenda Patricia García Soria
<b>VOCAL II</b>	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
<b>VOCAL III</b>	Ing. Miguel Angel Dávila Calderón
<b>VOCAL IV</b>	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
<b>SECRETARIA</b>	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

<b>DECANO</b>	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Sergio Torres Hernández
<b>SECRETARIA</b>	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

### **BENEFICIOS EN SISTEMAS DE VAPOR POR MEDIO DE UNA CORRECTA INSTALACIÓN Y SELECCIÓN DE TRAMPAS,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 7 de Mayo de 2007.



Selvin Manuel Ovando Roca

Guatemala, 14 de Agosto de 2007


Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería, USAC

Señor Director:

Atentamente me dirijo a usted para someter a su consideración el trabajo de graduación del estudiante **Selvin Manuel Ovando Roca**, previo a obtener el título de Ingeniero Mecánico.

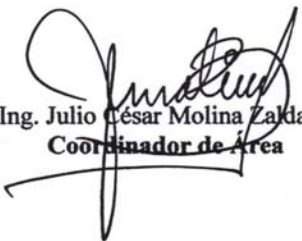
El trabajo en mención se titula: **BENEFICIOS EN SISTEMAS DE VAPOR POR MEDIO DE UNA CORRECTA INSTALACIÓN Y SELECCIÓN DE TRAMPAS**. He asesorado y revisado el trabajo y considero que llena satisfactoriamente los requisitos para su aprobación.

Agradeciendo su atención, me suscribo de usted,

  
Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda  
Colegiado No. 3948

El Coordinador del Área Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado **BENEFICIOS EN SISTEMAS DE VAPOR POR MEDIO DE UNA CORRECTA INSTALACIÓN Y SELECCIÓN DE TRAMPAS**, del estudiante **Selvin Manuel Ovando Roca**, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Julio César Molina Zaldaña  
Coordinador de Área

Guatemala, octubre de 2007.

/behdei

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área Térmica al Trabajo de Graduación titulado **BENEFICIOS EN SISTEMAS DE VAPOR POR MEDIO DE UNA CORRECTA INSTALACIÓN Y SELECCIÓN DE TRAMPAS**, del estudiante **Selvin Manuel Ovando Roca**, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Esdras Feliciano Miranda Orozco'.

Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco  
**DIRECTOR a.i.**



Guatemala, octubre de 2007.

/bhdei

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.392.07

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **BENEFICIOS EN SISTEMAS DE VAPOR POR MEDIO DE UNA CORRECTA INSTALACIÓN Y SELECCIÓN DE TRAMPAS**, presentado por el estudiante universitario **Selvin Manuel Ovando Roca**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

A handwritten signature in black ink, enclosed in an oval shape.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, Octubre de 2007

/cc



## **AGRADECIMIENTOS A:**

Dios	Por la fortaleza y sabiduría que me brinda para caminar en la vida.
Mi esposa	Por su amor y apoyo incondicional.
Mis padres	Por forjar mi camino y fortalecer mi vida con sus consejos, para lograr mis sueños.
Mis compañeros de estudios	Por apoyarme y darme los consejos necesarios para lograr una meta importante en mi vida. Por ponerle buen sabor a la vida universitaria.
Mis catedráticos	Por el tiempo dedicado a mí y a cada uno de mis compañeros.
La Facultad de Ingeniería	Por la invaluable enseñanza.
La Universidad de San Carlos de Guatemala	Gloriosa casa de estudios.
El Ing. Edwin Estuardo Sarceño	Por su amistad y apoyo al asesorar este trabajo de graduación.



## ACTO QUE DEDICO A:

La Santísima Trinidad y la Virgen María	Si no estás en mi ser, sería como un barco a la deriva, que el viento trae y lleva, sin nadie que guíe mi vida.
Mi esposa	Elsa Amelia, nada más verte y el mundo se transforma, no hay soledad ni maldad que me lastime, en felicidad y amor va tomando forma, ya no existe temor que me domine.
Mi hijo	Yosef Manuel, tú eres un bendecido, un escogido por Dios, y al ser tu padre recibo también esa bendición.
Mi madre	Estercilia, eres el bastón que sostiene mi existencia, eres ejemplo y guía... solaz de duros días; esperanza y alegría.
Mi padre	Manuel de Jesús, bondadoso lleno de paz y sabiduría, modelo en mi vida. El trabajo, el honor, el afán los aprendí de tí y el hogar que me diste alegre lo viví.
Mis abuelos	Rafael y Marcelina, Félix y Estefana. En cada vuelo, vida, sueño, perdurará siempre la huella del camino enseñado.
Mis hermanos	Deydania, Darío y Evin, porque a través de mi vida han caminado conmigo siempre. Semillas de un mismo huerto, frutos salidos de la misma humilde rama.
Mi sobrino	Ever, su llegada iluminó de nuevo nuestro hogar con la alegría de la niñez.
Mis tíos y primos	Un grupo predilecto en mi vida que le transmite lo que es vivir en armonía y unidad como familia.
Mis amigos	En especial Arcenio y Joel. Cada preciado segundo quedará atesorado eternamente en mi corazón.
Guatemala	Lugar que me enseña que la gente es lo que embellece a un país.



# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	VII
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	XI
<b>GLOSARIO</b>	XIII
<b>RESUMEN</b>	XVII
<b>OBJETIVOS</b>	XIX
<b>INTRODUCCIÓN</b>	XXI
<b>1. PROPIEDADES Y APLICACIONES DEL VAPOR</b>	1
1.1 Conceptos básicos	1
1.1.1 Vapor	1
1.1.2 Vapor húmedo	1
1.1.3 Vapor saturado	2
1.1.4 Vapor sobrecalentado	2
1.1.5 Punto de ebullición	2
1.1.6 Calor sensible o de líquido saturado	2
1.1.7 Calor latente o de vaporización	2
1.1.8 Calor total de vapor	3
1.1.9 Capacidad calorífica	3
1.1.10 Temperatura crítica	3
1.1.11 Entalpía	4
1.1.12 Volumen específico	4
1.1.13 Volumen específico de vapor	4
1.1.14 Presión absoluta, manométrica y de vacío	5
1.1.15 Condensado	5

1.1.16	Vapor instantáneo o vapor <i>flash</i>	5
1.1.16.1	¿Qué es?	6
1.1.16.2	¿Cómo se forma?	6
1.1.16.3	¿Porqué es importante?	8
1.2	Utilización de la energía del vapor	8
<b>2.</b>	<b>TRAMPAS DE VAPOR</b>	<b>9</b>
2.1	Funciones de una trampa de vapor	9
2.1.1	Manejo eficiente del condensado	9
2.1.2	Manejo de condensados con ácido y oxígeno	10
2.1.3	Venteo de aire	10
2.1.4	Venteo de dióxido de carbono CO <sub>2</sub>	10
2.1.5	Venteo de gases no-condensables	10
2.1.6	Evitar problemas de contrapresión	11
2.1.7	Manejo de suciedad	11
2.2	Tipos de trampas de vapor	11
2.2.1	Trampas mecánicas	11
2.2.1.1	Trampa de flotador y termostato	12
2.2.1.2	Trampa de cubeta invertida	13
2.2.2	Trampa termostática	13
2.2.2.1	Trampa bimetálica	14
2.2.2.2	Trampa de expansión	15
2.2.3	Trampa termodinámica	16
2.2.3.1	Trampa de disco	16
2.3	Selección de trampas de vapor	17
2.3.1	Factores importantes en la selección de trampas	17
2.3.1.1	Método de operación	19
2.3.1.2	Facilidad de comprobar una operación satisfactoria	19

2.3.1.3	Habilidad de manejar cargas de aire al arrancar el sistema	20
2.3.1.4	Operación a baja carga	20
2.3.1.5	Capacidad para pasar suciedad	20
2.3.1.6	Costo	21
2.3.2	Selección de trampas por su capacidad	22
2.3.2.1	Carga de condensado	22
2.3.2.1.1	Estimación de condensado por medición	22
2.3.2.1.2	Estimación de condensado por cálculo	23
2.3.2.2	Factor de seguridad	29
2.3.2.3	Diferencia de presiones	31
2.3.2.4	Presión máxima permitida	32
2.3.3	Utilización de <i>software</i> en la selección de trampas	32
2.3.3.1	Selección basada en datos de operación	33
2.3.3.2	Selección basada en la aplicación específica	36
2.3.4	Ejemplo de selección de trampas	38
2.3.5	Ejemplo de selección con el <i>software</i> para trampas	42
2.4	Métodos de inspección de las trampas de vapor	44
2.4.1	Sonido	45
2.4.1.1	Detector ultrasónico	45
2.4.2	Temperatura	46
2.4.2.2	Pirómetro digital	46
2.4.3	Visual	47
2.4.3.1	Válvula de purga	47
2.4.3.2	Mirilla	48
2.4.4	Automática	51
2.4.4.1	Comprobación remota	51
2.5	Instalación de trampas de vapor	53
2.5.1	Consideraciones básicas	53

2.5.1.1	Corto circuito	53
2.5.1.2	Inclinación adecuada y drenaje	55
2.5.2	Como trapear sistemas de distribución	59
2.5.2.1	Pierna colectora ó pozo de goteo	59
2.5.2.2	Tuberías principales	61
2.5.2.3	Ramales de tubería	63
2.5.2.4	Separadores	64
2.5.3	Trampeo de venas de vapor ó líneas <i>tracer</i>	65
2.5.4	Trampeo de equipo de calefacción	66
2.5.5	Trampeo de calentadores de aire de proceso	67
2.5.6	Trampeo de intercambiadores de calor de tubos y coraza y serpentines sumergidos	68
2.5.6.1	Serpentines estampados	70
2.5.6.2	Serpentines tubulares	70
2.5.7	Trampeo de evaporadores	72
2.5.7.1	Evaporadores de un paso	72
2.5.7.2	Evaporadores de múltiples pasos	73
2.5.8	Trampeo de marmitas	75
2.5.9	Trampeo de equipo con cámaras de vapor cerradas y estacionarias	76
2.5.9.1	Inyección directa de vapor en la cámara	77
2.5.9.2	Producto en cámara y vapor en camisas	78
2.5.10	Trampeo de secadoras rotatorias con drenaje por sifón	79
2.5.10.1	Secadora con producto por afuera	80
2.5.10.2	Secadora calentada por vapor con producto por adentro	81
2.5.11	Trampeo de tanques de <i>flasheo</i>	82
2.5.12	Trampeo de máquinas de absorción	84



2.6	Ventajas obtenidas con la correcta selección e instalación de trampas	85
2.6.1	Disminución del golpe de ariete y de erosión en accesorios y tubería	86
2.6.2	Eliminación de la posibilidad de un choque térmico y mayor aprovechamiento de calor latente del vapor	87
2.6.3	Aumento de la transferencia de calor	89
2.6.4	Eliminación de problemas de suciedad	90
2.7	Ventajas obtenidas con la utilización de <i>software</i> para trampas	91
<b>3.</b>	<b>OPORTUNIDAD DE CONSERVACIÓN DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE VAPOR</b>	<b>93</b>
3.1	Esquema resumido sobre los aspectos que incrementan la eficiencia en sistemas de vapor	93
3.1.1	Generación de vapor	93
3.1.2	Distribución de vapor	94
3.1.3	Consumo de vapor	94
3.2	Ahorro de energía en sistemas de condensado	95
3.2.1	Retorno del condensado	95
3.2.2	Aislar sistemas de condensado	96
3.2.3	Cerrar el sistema de condensado	96
3.2.4	Precalentar agua con condensado	96
3.2.5	Reducir presión de vapor en proceso	97
3.3	Drenado de condensado	97
3.4	Efecto del aire en la temperatura de vapor	97
3.5	Efecto del aire en la transferencia de calor	98
3.6	Análisis comparativo de las trampas de vapor	100
3.7	Estimación del costo de vapor	104
3.7.1	El costo de no verificar las trampas	108

3.8	Análisis costo-beneficio para trampas con pérdidas de vapor vivo	109
3.9	Análisis costo-beneficio para trampas sin pérdidas de vapor vivo	112
	<b>CONCLUSIONES</b>	115
	<b>RECOMENDACIONES</b>	117
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	119

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Porcentaje de vapor <i>flash</i> que se forma cuando se descarga condensado a una presión menor	7
2.	Trampa de flotador y termostato	12
3.	Trampa de cubeta invertida	13
4.	Trampa bimetálica	14
5.	Trampa de expansión	15
6.	Trampa de disco	17
7.	Diferencia de presiones	31
8.	<i>Software</i> para selección de trampas de vapor	33
9.	Opciones de selección en el <i>software</i> para trampas	34
10.	Ingreso de datos de operación de la trampa	35
11.	Trampa seleccionada por el programa	36
12.	Opciones de aplicación para la selección de trampas	37
13.	Gráfica presión vrs capacidad para la trampa de flote y termostato modelo AA	39
13a.	Gráfica presión vrs capacidad para la trampa termodinámica modelo BB.	40
14.	Ejemplo de selección de trampa por medio del <i>software</i>	42
15.	Trampa seleccionada por medio del programa	43
16.	Alternativa de trampa	44
17.	Colocación del medidor en la trampa	45
18.	Pirómetro digital	47
19.	Válvula de purga para inspección visual	48
20.	Mirilla para sistemas de vapor	49

21.	Funcionamiento normal	49
22.	Paso de vapor vivo	50
23.	Retención de condensado	50
24.	Sensor instalado en línea de vapor para su comprobación	51
25.	Sistema automático de prueba de trampas	52
26.	Instalación de trampas de vapor en corto circuito	54
27.	Instalación correcta de trampas de vapor	54
28.	Generación de condensado en una tubería recta	55
29.	Acumulación de condensado	56
30.	Sistema de drenaje con su respectiva trampa de vapor	57
31.	Reductores en líneas de vapor	57
32.	Distribución de líneas de vapor secundario	58
33.	Venteo de aire	58
34.	Pierna colectora ó pozo de goteo	59
35.	Pierna colectora ó pozo de goteo en línea principal	62
36.	Ramales de tubería	63
37.	Separador de vapor	64
38.	Venas de vapor ó líneas <i>tracer</i>	65
39.	Equipo de calefacción	66
40.	Calentador de aire de proceso	68
41.	Intercambiador de calor de tubos y coraza	69
42.	Serpentín estampado	70
43.	Serpentín tubular	71
44.	Sistema de evaporador de un paso	73
45.	Sistema de evaporador de múltiples pasos	74
46.	Olla con camisa ó marmita	76
47.	Inyección directa del vapor a la cámara del producto	78
48.	Producto en cámara y vapor en camisas	79
49.	Secadora con producto por afuera	80

50.	Secadora con producto por dentro	81
51.	Diagrama típico de las tuberías en un tanque de <i>flasheo</i>	83
52.	Máquina de absorción	85
53.	Formación de olas de condensado en la tubería	87
54.	Deficiencia de dispositivos con condensado	88
55.	Reductores en la transferencia de calor	89
56.	Aislamiento térmico debido a una capa de aire en las paredes del intercambiador de calor	99

## TABLAS

I.	Factores importantes en la selección de trampas	18
II.	Formación de lb de condensado/h por cada 100 pies de tubería	24
III.	Condensación en tuberías aisladas transportando vapor saturado en aire quieto a 70 °F. Eficiencia de aislamiento asumida 75%.	25
IV.	Valores de U para serpentines tubulares en MJ/hr•m <sup>2</sup> •°C	28
V.	Valores de U para serpentines estampados en MJ/hr•m <sup>2</sup> •°C	29
VI.	Factores de seguridad para diferentes aplicaciones	30
VII.	Dimensiones recomendadas para piernas colectoras o pozos de goteo	60
VIII.	Reducción en temperatura causada por aire	98



## LISTA DE SÍMBOLOS

Btu	Energía requerida para elevar 1 °F la temperatura de 1 libra masa de agua a 68 °F
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
Cp	Calor específico a presión constante
E	Energía interna
gal	Galón
GPM	Galones por minuto
g.s.	Gravedad específica del líquido
H	Entalpía
h <sub>f</sub>	Entalpía de líquido saturado
h <sub>g</sub>	Entalpía de vapor saturado
hr	Hora
kJ	Kilo Joule
kg	Kilogramo
kcal	Kilo caloría
lb	Libra
m	Metro
<i>m</i>	Masa
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
MEM	Ministerio de energía y minas
min	Minuto
MJ	Mega Joule
mm	Milímetro
Mpa	Mega Pascal

$O_2$	Oxígeno
P	Presión
$P_{abs}$	Presión absoluta
$P_{aire}$	Presión del aire
$P_{atm}$	Presión atmosférica
plg	Pulgada
$P_{manométrica}$	Presión manométrica
$P_{parc}$	Presión parcial
psia	Libras por pulgada cuadrada absoluta
psig	Libras por pulgada cuadrada relativa
$P_{Total}$	Presión total
$P_{vac}$	Presión de vacío
$P_{vap}$	Presión de vapor
Q	Quetzales
$Q$	Flujo de calor
RI	Retorno de la inversión
rpm	Revoluciones por minuto
SI	Sistema internacional
ton	Tonelada
V	Volumen
W	Peso
$^{\circ}C$	Grado centígrado
$^{\circ}F$	Grado Fahrenheit
$\Sigma$	Sumatoria
$\Delta$	Cambio



## **GLOSARIO**

<b>Bunker</b>	Combustible derivado del petróleo.
<b>Caldera</b>	Máquina utilizada para generar vapor.
<b>Calor</b>	Es una forma de energía que se transfiere a través de una frontera debido a una diferencia de temperaturas.
<b>Cogeneración</b>	Producción de más de una forma útil de energía, como calor de proceso y energía eléctrica, a partir de la misma fuente de energía.
<b>Eficiencia de la caldera</b>	Cantidad de energía necesaria para convertir el agua de alimentación en vapor, con relación a la cantidad de energía correspondiente al combustible utilizado.
<b>Energía</b>	Capacidad para producir cambios.

<b>Golpe de ariete</b>	Cuando una porción de agua queda atrapada entre una corriente de vapor que es empujada a gran velocidad, golpeando contra la pared de la tubería, accesorios o equipos.
<b>Intercambiador de calor</b>	Dispositivo donde dos corrientes de fluido en movimiento intercambian calor.
<b>Marmitas</b>	Son esencialmente ollas de cocido o concentradores con camisas o chaquetas de vapor alrededor de ellas.
<b>Punto de ebullición</b>	Es la temperatura a la cual el agua empieza a ebullición a una presión dada.
<b>Purga</b>	Pérdida determinada de agua en el sistema de la caldera.
<b>Serpentín</b>	Tubo largo en línea espiral o quebrada que sirve para facilitar el enfriamiento.
<b>Software</b>	Conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas para ejecutar ciertas tareas en una computadora.
<b>Survey</b>	Prueba periódica realizada sobre algún dispositivo.

**Turbinas de vapor**

Dispositivo destinado a transformar en movimiento, de una rueda de paletas, la fuerza viva o la presión de un fluido.

**Válvula**

Dispositivo empleado para regular el flujo de un líquido, gas, una corriente, etc.

**Venteo**

Evacuar gases incondensables de alguna tubería.



## RESUMEN

La mayoría de industrias, como: la alimenticia, textil, hoteles, hospitales, etc., poseen sistemas de vapor en sus instalaciones para llevar a cabo sus funciones. Los sistemas de vapor de cualquier industria deben trabajar con una eficiencia alta para lograr mayor productividad con menos energía utilizada. Esto hace necesario contar con dispositivos que trabajen sin pérdidas de vapor vivo.

Las trampas se encuentran en contacto con vapor, condensado y gases incondensables; entre las trampas más utilizadas en la industria están: flote y termostato, cubeta invertida, bimetálica, expansión y termodinámica. Entre las consideraciones para la instalación de los distintos tipos de trampas están:

- Adecuada selección de la trampa de vapor de acuerdo a la capacidad requerida
- Instalación independiente para cada dispositivo de proceso
- La tubería principal de vapor debe tener una inclinación determinada, de lo contrario las trampas tienen que instalarse a una distancia menor.

El mercado moderno ofrece varias herramientas que pueden implementarse, incluso algunas pueden sustituirse, al sistema de vapor. El uso de programas de computadora es una opción que ayuda a obtener precisión en los cálculos y selección. Además, los análisis costo-beneficio proporcionan información de gran ayuda al momento de la toma de decisiones, en la realización de nuevos proyectos o sustitución de alguna parte de ellos.



# OBJETIVOS

## General

Conocer alternativas para obtener beneficios en los sistemas de vapor. Reducir costos en la transformación de energía y mejorar la productividad de las distintas industrias que utilizan el vapor como instrumento indispensable en sus procesos.

## Específicos

1. Investigar y conocer los conceptos básicos utilizados en el trato con sistemas de vapor.
2. Conocer los diferentes tipos de trampas, su utilización y los métodos de mantenimiento.
3. Poder realizar una correcta selección e instalación de las trampas dependiendo del proceso que se desea trampear.
4. Dar a conocer algunas de las herramientas que la tecnología nos otorga para implementarlas en aplicaciones de control y diseño de sistemas de vapor.
5. Conocer métodos para lograr un ahorro de energía y realizar un análisis, para justificar algún cambio o reemplazo en el sistema de vapor.





# INTRODUCCIÓN

Las empresas industriales son grandes consumidores de energía, gran parte de ésta es utilizada en la producción de vapor. El vapor es uno de los medios más efectivos para transferir calor. El agua se encuentra en cualquier parte y requiere relativamente pequeñas modificaciones de su estado natural para utilizarla en equipos y realizar algún proceso. El vapor es fácil de transportar y no se necesitan enormes cantidades de él para mover grandes cantidades de calor.

En años atrás muchos sistemas de vapor, en la industria, fueron sobre diseñados, esto no fue realmente un mal diseño en ese entonces, pero el costo de energía necesaria para llevar a cabo la elaboración del vapor se encuentra aumentando a pasos agigantados siendo necesario mejorar la eficiencia de los sistemas de vapor para reducir al máximo el mismo.

Debido al aumento de los costos, el ingeniero mecánico se ha visto en la necesidad de buscar alternativas para obtener un ahorro de energía en los sistemas y evitar al máximo las pérdidas de vapor vivo. Una de las maneras para lograr estos objetivos es la utilización de nuevos dispositivos, tal es el caso de las trampas de vapor, las que con tecnología moderna existen con mejores características y más opciones en el mercado.

Este trabajo de graduación presenta una ayuda para obtener un sistema más eficiente al tener conocimientos para poder realizar, selección e instalación de las trampas según sea la necesidad de cada proceso. Al mismo tiempo se hace ver la importancia de tener un mantenimiento periódico y buenas condiciones en las trampas por medio de un análisis costo-beneficio.

Todo lector puede aprovechar al máximo el contenido del trabajo, llegar a tener conocimientos para tomar una decisión correcta sobre las trampas de vapor y llevar su sistema de vapor a niveles de eficiencia deseados. Además, deja el deseo de ampliar sobre el tema, pues, se debe tomar en cuenta que el tiempo y la tecnología avanza y con ello el nacimiento de nuevas alternativas para lograr tener sistemas con la menor cantidad posible de pérdidas de vapor vivo.

# 1. PROPIEDADES Y APLICACIONES DEL VAPOR

## 1.1 Conceptos básicos

La industria posee un vocabulario único y la de vapor no es la excepción. La definición precisa de los conceptos básicos constituye un fundamento íntegro para el desarrollo de la industria y evita equivocaciones. Este capítulo contiene un panorama de exposición de conceptos básicos. El estudio cuidadoso de estos conceptos es indispensable para una buena interpretación de los temas tratados en los siguientes capítulos.

### 1.1.1 Vapor

Es agua en su fase de vapor. Se genera cuando se le añade energía calorífica al agua. Se necesita añadir suficiente energía para que se eleve la temperatura del agua hasta su punto de ebullición. Después de ello, cualquier energía adicional transforma el agua en vapor, sin un incremento en la temperatura.

### 1.1.2 Vapor húmedo

Cuando se lleva vapor de la caldera al punto de utilización éste se condensa a lo largo de las tuberías. Este enfriamiento por pequeño que sea, al actuar sobre un vapor saturado causa una condensación, la cual se manifiesta corrientemente en forma de niebla que es arrastrada por el vapor.

Por esta razón, en la práctica casi nunca una libra de vapor saturado es realmente una libra de vapor. Dependiendo de esta y otras consideraciones, en la práctica se puede suponer que el vapor saturado es húmedo o sea de cierta calidad, libras de vapor/libras de agua.

### **1.1.3 Vapor saturado**

Es vapor puro a una temperatura igual a la temperatura a que hierve el agua a una presión dada.

### **1.1.4 Vapor sobrecalentado**

Es aquel que se encuentra a una temperatura mayor que la de saturación a una presión determinada.

### **1.1.5 Punto de ebullición**

Es la temperatura a la cual el agua empieza a ebulir a una presión dada.

### **1.1.6 Calor sensible o de líquido saturado**

Es la energía necesaria para elevar la temperatura del líquido sin que exista cambio de fase.

### **1.1.7 Calor latente o de vaporización**

Es la cantidad de energía absorbida o generada durante un proceso de cambio de fase.

### **1.1.8 Calor total de vapor**

Es igual a la suma del calor del líquido saturado o sensible y el calor latente, expresado en kJ/kg o en kcal/kg.

### **1.1.9 Capacidad calorífica**

Representa la cantidad de energía requerida para elevar un grado la temperatura de una sustancia en energía que puede ser proporcionada mediante la transferencia de calor en ciertos procesos específicos.

Las unidades de la capacidad calorífica son unidades de calor por unidad de masa y por unidad de temperatura, se expresa en Btu/lb<sup>o</sup>F. Esta unidad en el SI es kJ/kg<sup>o</sup>C.

### **1.1.10 Temperatura crítica**

Se define como la temperatura en la que los estados de líquido saturado y vapor saturado son idénticos.

### **1.1.11 Entalpía**

Cuando se efectúa un balance de energía en un proceso de flujo, es conveniente considerar la entalpía, contenido de calor, como una cantidad relacionada con el contenido de energía y se define como:

$$H = E + PV$$

o sea que la entalpía viene determinada por el contenido de energía interna, que es la energía contenida en la sustancia a determinada presión y temperatura, más una cantidad extra de energía, porque algo ha actuado sobre él y lo ha hecho fluir; ésta se denomina energía de flujo, producto de la presión por el volumen.

Las unidades de la entalpía son unidades de calor por unidad de masa, se expresa en Btu/lb o kJ/kg.

### **1.1.12 Volumen específico**

Se trata del recíproco de la densidad y se define como el volumen por unidad de masa,  $m^3/kg$ .

### **1.1.13 Volumen específico de vapor**

Es el volumen por unidad de masa y se expresa en metros cúbicos por kilogramo,  $m^3/kg$ .

#### 1.1.14 Presión absoluta, manométrica y de vacío

La presión real en una posición dada se denomina **presión absoluta** y se mide respecto al vacío absoluto, es decir, la presión del cero absoluto. Sin embargo, la mayor parte de los dispositivos que miden presión se calibran para leer el cero en la atmósfera y por ello indican la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica local. Esta diferencia se denomina **presión manométrica**. Las presiones por debajo de la atmosférica reciben el nombre de **presiones de vacío** y se determinan con medidores de vacío que indican la diferencia entre la presión atmosférica y la presión absoluta. Las presiones absoluta, manométrica y de vacío son cantidades positivas y se relacionan entre sí por medio de:

$$\begin{aligned} P_{\text{manométrica}} &= P_{\text{abs}} - P_{\text{atm}} && \text{para presiones sobre } P_{\text{atm}} \\ P_{\text{vac}} &= P_{\text{atm}} - P_{\text{abs}} && \text{para presiones abajo de } P_{\text{atm}} \end{aligned}$$

#### 1.1.15 Condensado

El condensado es el resultado de la reducción de temperatura causada por la eliminación del calor latente de evaporación. Es un producto secundario de la transferencia de calor en un sistema de vapor. Se forma en el sistema de distribución debido a la inevitable existencia de radiación. También se forma en equipos de calentamiento y de proceso debido a la transferencia de calor del vapor.

#### 1.1.16 Vapor Instantáneo o Vapor *Flash*

Para poder entender bien lo que sucede con el condensado en el sistema de vapor y retorno, es importante comprender el concepto de vaporización instantánea o vapor *flash*.

### 1.1.16.1 ¿qué es el vapor *flash*?

Cuando se tiene condensado caliente o agua hirviendo, presurizados, y se libera a una presión más baja, parte de esos líquidos se vuelven a evaporar, y a esto es a lo que se le llama Vapor *Flash* o Vapor instantáneo.

### 1.1.16.2 ¿cómo se forma?

Cuando el agua se calienta a la presión atmosférica, su temperatura se eleva hasta que llega aproximadamente a 100°C, la temperatura más alta a la que el agua puede aún existir como líquido a esta presión. Cualquier calor adicional no eleva la temperatura sino que transforma el agua en vapor. Sin embargo, si el agua se calienta a mayor presión, su punto de ebullición es más alto que 100°C y consecuentemente el calor sensible requerido es mayor. Mientras más alta sea la presión, más alto será el punto de ebullición y mayor el calor requerido. Cuando la presión se reduce, una cierta cantidad de calor sensible es liberado. Este calor es entonces absorbido en la forma de calor latente, lo cual causa que una cantidad del agua se convierta en vapor *flash*.

El porcentaje del condensado que se convertirá en vapor *flash* se puede calcular usando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Vapor } \textit{Flash} = \frac{SA - SB}{LL} \times 100$$

SA = Calor Sensible del condensado a alta presión, antes de ser descargado.

SB = Calor Sensible del condensado a baja presión, a la cual se descarga.

LL = Calor Latente del vapor a baja presión, a la cual se descargó.



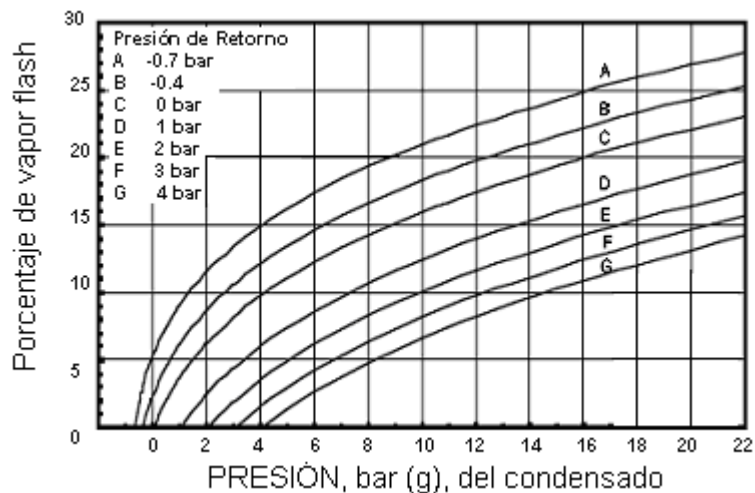
Ejemplo:

El condensado a la temperatura de vapor y a una presión absoluta de 1 Mpa ó 10 bar guarda una cantidad de calor igual a 762.81 kJ/kg. Si este condensado se descarga a la presión atmosférica, 0.1 Mpa ó 1.01 bar, su contenido calorífico instantáneamente se reduce a 417.46 kJ/kg. La diferencia de 345.35 kJ/kg transforma parte del condensado en vapor *flash*. El calor latente del vapor a baja presión es de 2258.0 kJ/kg. Para los valores de calor sensible y latente ver tabla de vapor.

$$\% \text{ de vapor flash} = \frac{762.81 \text{ kJ/kg} - 417.46 \text{ kJ/kg}}{2258.0 \text{ kJ/kg}} \times 100 = 15.29\%$$

Para mayor conveniencia, la figura 1 muestra la cantidad de vapor instantáneo ó *flash* que se formará cuando se descarga el condensado a diferentes presiones.

**Figura 1. Porcentaje de vapor *flash* que se forma cuando se descarga condensado a una presión menor**



Fuente: Amrstrong Manual para la conservación de vapor, Pág. 5

### **1.1.16.3 ¿por qué es importante?**

El vapor *flash* es importante porque guarda unidades de calor o energía que pueden ser aprovechadas para una operación más económica de la planta. De lo contrario, esta energía es desperdiciada.

## **1.2 Utilización de la energía del vapor**

El calor fluye de un punto a alta temperatura a un punto a temperatura menor, esto es lo que se conoce como transferencia de calor. Empezando en la cámara de combustión de la caldera, el calor fluye a través de la pared de los tubos de la caldera hasta el agua. Cuando la presión más alta de la caldera, empuja el vapor hacia afuera, los tubos de distribución se calientan. Entonces, el calor fluye a través de la pared de los tubos, hacia el aire a temperatura menor alrededor de la tubería. Esta transferencia de calor transforma cierta cantidad del vapor en agua nuevamente.

Ésta es la razón por la que usualmente las tuberías de distribución están aisladas, ya que así se minimiza el desperdicio de energía de esta transferencia de calor indeseable. Todo esto es diferente cuando el calor llega a los intercambiadores del sistema. En este caso se desea la transferencia de calor del vapor. El calor fluye hacia el aire en un calentador de aire, hacia el agua en un calentador de agua, o a los alimentos en una olla de cocido. Nada debe de interferir con esta transferencia de calor.

## **2. TRAMPAS DE VAPOR**

### **2.1 Funciones de una trampa de vapor**

Una trampa de vapor se puede definir como una válvula automática que tiene distintas funciones. Es muy importante conocer las funciones que puede realizar una trampa para poder utilizarla en las aplicaciones requeridas.

#### **2.1.1 Manejo eficiente del condensado**

Su cometido es la evacuación óptima del condensado de cambiadores de calor con alimentación por vapor. Este punto se refiere a las pérdidas relativas de vapor vivo que tienen las diferentes trampas. Algunas trampas, inclusive nuevas, tienen más o menos la misma eficiencia, una pérdida de vapor entre 0.5 y 10 lb/hr. Sin embargo, la tecnología moderna se encuentra desarrollando trampas con una eficiencia cada vez mayor, algunas trampas son diseñadas para trabajar sin pérdidas de vapor vivo.

Existe otro aspecto de conservación de energía que se usa al referirse a trampas. Este se trata del subenfriamiento que causa la trampa al condensado antes de pasarlo. Las trampas termostáticas, por ejemplo, no dejan pasar el condensado hasta que se haya enfriado a una cierta temperatura. Si el condensado cede el calor al proceso al subenfriarse, la trampa se puede considerar más eficiente o sea que aprovecha mejor la energía. Pero si el condensado se queda estancado en un serpentín, por ejemplo, está en realidad reduciendo la capacidad de transmisión de calor de ese serpentín y la eficiencia térmica del proceso de calentamiento a través del serpentín.

Es importante no confundir las características de eficiencia de la trampa, no dejar pasar vapor vivo, con la eficiencia térmica del proceso.

### **2.1.2 Manejo de condensados con ácido y oxígeno**

Las trampas de vapor deben estar diseñadas para trabajar con presencia de ácido y oxígeno en el condensado a purgar, debido a esto, las partes importantes de una trampa deben ser resistentes a la corrosión para que no sufran los efectos dañinos de los condensados.

### **2.1.3 Venteo de aire**

El aire puede mezclarse con el vapor en cualquier momento, y en especial al arranque del equipo. Éste debe ser venteado para tener una transferencia de calor eficiente y para prevenir bloqueos en el sistema.

### **2.1.4 Venteo de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>**

Mediante venteo del CO<sub>2</sub> a la temperatura del vapor se evita la formación de ácido carbónico. Por lo tanto la trampa de vapor opera a una temperatura igual, o bastante cerca, a la temperatura del vapor, ya que el CO<sub>2</sub> se disuelve en condensado que se ha enfriado a temperatura menor que la del vapor.

### **2.1.5 Venteo de gases no-condensables**

Al igual que el aire, los gases no-condensables se mezclan con el vapor por lo que deben de expulsarse y evitar de esta manera bloqueos en el sistema y asegurar una transferencia de calor más eficiente.

### **2.1.6 Evitar problemas de contrapresión**

Presurización de las líneas de retorno puede ocurrir por diseño o por un mal funcionamiento. Una trampa de vapor debe ser capaz de funcionar aún cuando exista contrapresión en su tubería de retorno al sistema.

### **2.1.7 Manejo de suciedad**

Suciedad y basura siempre serán algo que se encuentra en las trampas, debido a que se instalan en los niveles bajos del sistema de vapor. El condensado recoge la suciedad y el sarro en las tuberías, también partículas sólidas que pueden ser acarreadas desde la caldera. Aún las partículas que se cuelan por los filtros son erosivas y por lo tanto la trampa de vapor debe ser capaz de funcionar ante la presencia de suciedad. Una trampa que ofrezca cualquier cosa menor que todas estas características, resultará con una eficiencia menor en el sistema y en un incremento de costos.

## **2.2 Tipos de trampas de vapor**

En esta sección se presentan algunos tipos de trampas que se consideran las más comunes, divididas en tres grupos según su modo de operación.

### **2.2.1 Trampas mecánicas**

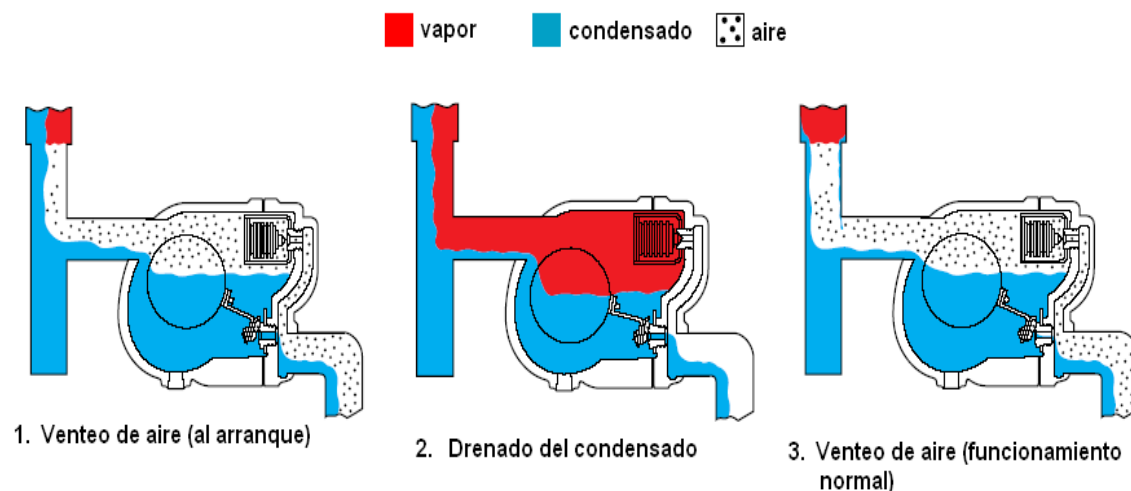
Las trampas mecánicas detectan la diferencia de fase entre el vapor y el condensado, es decir, entre gas y líquido, mediante la diferencia en densidad entre los dos.

### 2.2.1.1 Trampa de flotador y termostato

Las trampas de flotador y termostato, figura 2, sirven incluso para evacuar condensados fríos, productos de destilación y condensados de productos químicos. Funcionan también en condiciones de fuerte fluctuación de la cantidad y la presión del condensado, y cualquiera que sea la contrapresión.

En comparación con otros purgadores son especialmente insensibles a la suciedad. Aún cuando es una de las más viejas en el mercado, es todavía la de más amplio uso. El orificio de salida siempre queda bajo agua, lo que asegura un buen sello contra fugas de vapor. La descarga es continua y modula según la generación de condensado, sin importar la presión de entrada. El aire se purga independientemente mediante una válvula termostática que permite el calentamiento rápido del sistema al arrancar.

**Figura 2. Trampa de flotador y termostato**

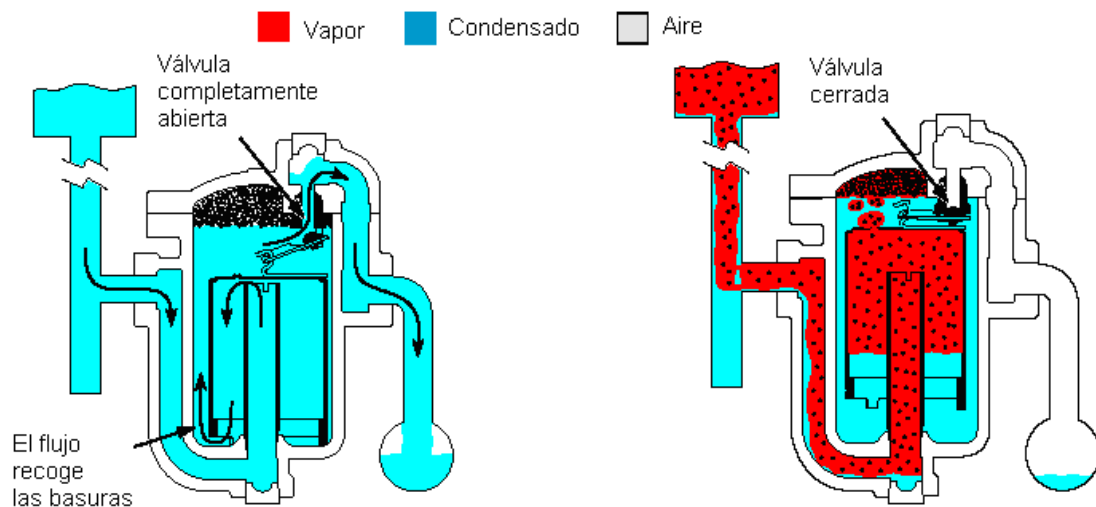


Fuente: Amrstrong Manual para la conservación de vapor, Pág. 12

### 2.2.1.2 Trampa de cubeta invertida

Estas trampas, figura 3, mantienen su popularidad desde hace años debido a su menor costo, aunque, en la mayoría de los casos, son más ineficientes que otras trampas. Siempre consumen un poco de vapor que pasa a través del orificio de venteo. Además se pueden quedar abiertas debido a una caída rápida de presión de entrada, o debido a que están sobredimensionadas para el sistema.

**Figura 3. Trampa de cubeta invertida**



Fuente: Amrstrong Manual para la conservación de vapor, Pag. 10

### 2.2.2 Trampas termostáticas

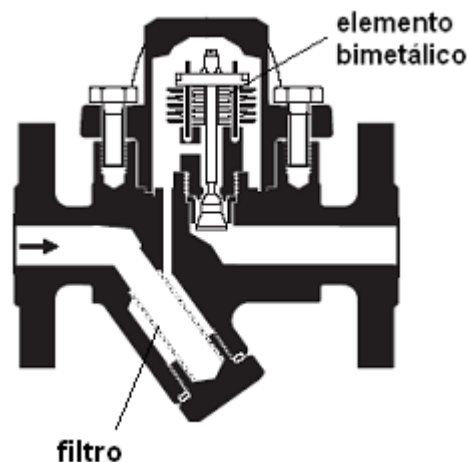
Este tipo de trampas responde a cambios de temperatura y de esta forma distingue bien entre vapor y gases no condensables más fríos. Elimina rápidamente el aire del sistema, especialmente durante un arranque en frío y puede ser instalada en varias posiciones.

### 2.2.2.1 Trampa bimetálica

Esta trampa utiliza el calor sensible en el condensado juntamente con la presión de la línea para abrir y cerrar el mecanismo de la válvula por medio de un dispositivo que se expande y se contrae según la temperatura, figura 4. El sistema de la válvula y su asiento están arreglados en tal forma que producen una condición de flujo abajo del asiento.

La presión de suministro tiende a abrir la válvula. Los elementos bimetálicos tienen forma de pequeños discos y están arreglados de tal manera que cierran la válvula cuando la temperatura aumenta. La fuerza de cierre está en oposición a la fuerza para abrir, creada por la presión de la línea.

**Figura 4. Trampa bimetálica**



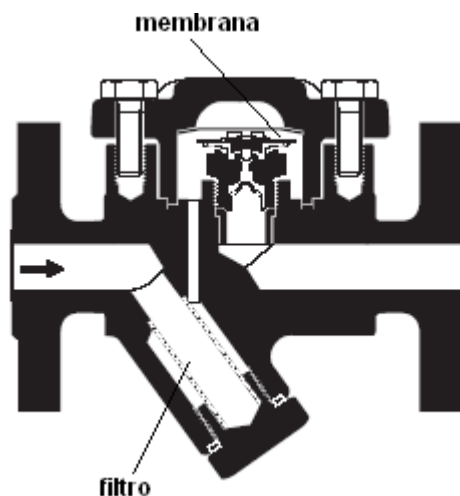
Fuente: Gestra, Manual para trampas de vapor y válvulas industriales, Pág. 6



### 2.2.2.2 Trampa de expansión

Las trampas de expansión, figura 5, se caracterizan por su alta sensibilidad de respuesta. Son ideales para intercambiadores de calor cuyo funcionamiento se ve notablemente perturbado si se acumulan pequeñas cantidades de condensado. Funcionan en cualquier posición previa ó con contrapresión. La operación de la trampa de expansión es similar a las otras trampas termostáticas. Un fuelle ó cilindro lleno de líquido que se dilata con la temperatura cierra la válvula en presencia de vapor. En estas trampas, el elemento sensible se encuentra a la salida o sea que se detecta la temperatura del condensado que sale. Puede calibrarse el elemento para abrir la válvula a la temperatura deseada. Esta trampa opera independientemente de la presión del sistema de vapor.

**Figura 5. Trampa de expansión**



Fuente: Gestra, Manual para trampas de vapor y válvulas industriales, Pág. 8

### **2.2.3 Trampa termodinámica**

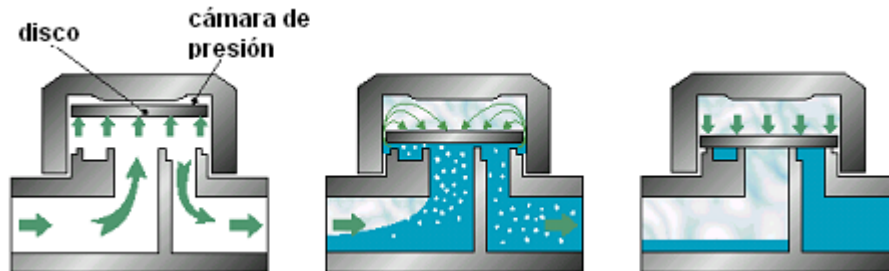
Estas trampas funcionan basándose en principios termodinámicos y de dinámica de fluidos. Igual que las trampas mecánicas, las termodinámicas son detectoras de fase; pueden diferenciar entre líquido y gas, pero no entre vapor, aire, y gases no condensables.

#### **2.2.3.1 Trampa de disco**

Las trampas de disco, figura 6, son las que más se usan hoy en día, debido a su pequeño tamaño, amplio intervalo de presiones, tiene sólo una pieza móvil, y su resistencia al golpe de ariete y a la corrosión. Al inicio la presión creada por el condensado empuja la válvula de disco y deja libre la entrada y salida, lo que permite la descarga. A medida que el condensado llegue a la entrada, éste experimenta un aumento de velocidad y una disminución de presión. Si la temperatura del condensado está próxima a la del vapor, habrá una vaporización instantánea del condensado debido a la disminución de presión.

El incremento de la velocidad resultante bajo el disco con la consecuente reducción de presión, causa que éste caiga y cierre; entonces el flujo para. Hasta que la presión en la cámara sobre el disco baje lo suficiente de modo que la presión en la entrada empuje el disco hacia arriba, abriendo la entrada, comienza el condensado a fluir. El condensado fluye nuevamente hasta alcanzar la presión y la velocidad para que ocurra la vaporización instantánea y el disco pueda cerrar nuevamente. Este ciclo se repite continuamente; el disco abre para permitir el flujo de condensado y cierra a alta velocidad del vapor instantáneo.

**Figura 6. Trampa de disco**



### **2.3 Selección de trampas de vapor**

La selección de una trampa para una aplicación en particular, en muchos casos necesita más arte y experiencia que evaluación técnica. Esta tarea se complica aún más por las afirmaciones conflictivas que hacen los diferentes fabricantes de trampas. Esta sección presenta factores y reglas generales en la ubicación y selección de trampas de vapor.

#### **2.3.1 Factores importantes en la selección de trampas**

En esta sección se discuten los factores que afectarán la selección del tipo de trampa para una aplicación dada. No todos los factores se aplican en todos los casos, pero un ingeniero debe saber cuáles factores son más importantes para seleccionar una trampa. Esta información está resumida en forma concisa en la tabla I.

**Tabla I. Factores importantes en la selección de trampas**

VARIOS TIPOS DE TRAMPAS DE VAPOR CUMPLEN REQUISITOS DE OPERACIÓN ESPECÍFICOS						
	Características	Mecánica		Termodinámica	Termostática	
		Cubeta Invertida	Flote y Termostato	Disco	Expansión	Bimetálica
1.	Método de operación	Intermitente	Continuo	Intermitente	Continuo (1)	Continuo
2.	Conservación de energía (tiempo en servicio)	Excelente	Buena	Pobre	Aceptable	Aceptable
3.	Resistencia al desgaste	Excelente	Buena	Pobre	Aceptable	Aceptable
4.	Resistencia a la corrosión	Buena	Buena	Excelente	Buena	Buena
5.	Resistencia al golpe de ariete	Excelente	Pobre	Excelente	Pobre	Excelente
6.	Venteo de aire y CO <sub>2</sub> a la temperatura de vapor	Sí	Sí	No	Sí	Sí
7.	Facilidad de comprobar buena operación	Excelente	Pobre	Excelente	Pobre	Pobre
8.	Habilidad de manejar cargas de aire al arrancar el sistema	Aceptable	Excelente	Pobre	Excelente	Excelente
9.	Operación con contrapresión	Excelente	Excelente	Pobre	Excelente	Excelente
10.	Resistencia al daño por congelamiento	Excelente	Aceptable	Buena	Buena	Buena
11.	Operación a baja carga	Excelente	Excelente		Excelente	Buena
12.	Respuesta a golpes de condensado	Inmediata	Inmediata	Demorada	Demorada	Demorada
13.	Habilidad para pasar suciedad	Excelente	Buena	Pobre	Aceptable	Aceptable
14.	Tamaño físico comparativo	Grande	Grande	Pequeña	Mediana	Mediana
15.	Falla normal de la trampa	Abierta	Cerrada	Abierta (2)	Cerrada (3)	Abierta

(1) Puede ser intermitente en carga baja

(2) Puede fallar cerrada debido a la suciedad

(3) Puede fallar abierta o cerrada dependiendo del diseño

Estudiando detalladamente la tabla I y la siguiente explicación, se desprende la conclusión de que los diferentes tipos de trampas son intercambiables en muchas aplicaciones, y que no hay una trampa definitivamente mejor que otra. Esta conclusión puede estar apoyada por las recomendaciones de los fabricantes que casi nunca recomiendan el mismo tipo de trampa para la misma aplicación. Definitivamente, hay aplicaciones que se adaptan mejor a un tipo de trampas que a otras. Pero siempre hay que tomar en cuenta el cálculo y la selección de la capacidad de la trampa, la preferencia para un tipo de trampa debido a experiencia práctica, y la conveniencia de normalizar hasta donde sea posible los tipos de trampas que se utilizan en una fábrica.

#### **2.3.1.1 Método de operación**

Algunas trampas como las de cubeta invertida y de disco tienen descarga intermitente, mientras que otra tienen descarga continua modulada. En general, la única ventaja que tienen las trampas de descarga intermitente es la facilidad para comprobar su operación cuando están instaladas.

#### **2.3.1.2 Facilidad de comprobar una operación satisfactoria**

La operación de las trampas que tienen descarga intermitente se puede verificar eficazmente por su sonido de cerrar y abrir. Las trampas que modulan según la carga y tienen carga continua son casi imposibles de probar en el campo sin inspección visual de la descarga o un dispositivo de medición.

### **2.3.1.3 Habilidad de manejar cargas de aire al arrancar el sistema**

Las trampas que dejan pasar mejor el aire al arrancar el sistema son las termostáticas, cuyos elementos se quedan abiertos debido a la temperatura más baja del aire comparada con la del vapor. Estas trampas tienen un orificio grande, modulado por el elemento termostático. Las otras tienen que pasar el gran volumen de aire al arrancar a través de un orificio pequeño que no tiene la posibilidad de abrir más.

### **2.3.1.4 Operación a baja carga**

En general la respuesta de las trampas a baja carga es bastante buena. Cuando opera a una carga mucho menor de la carga de diseño, la trampa operará con menor eficiencia, pasando más vapor. A carga muy baja, el orificio deja pasar vapor. La trampa de disco a baja carga cicla mucho, causando aumento en pérdidas de vapor, y más desgaste del disco y del asiento.

### **2.3.1.5 Capacidad para pasar suciedad**

La suciedad está siempre presente en todo sistema de vapor; pedazos de incrustación de tubería, óxido debido a la corrosión en el sistema, etc. Normalmente la suciedad está atrapada entre la válvula y el orificio de la trampa, lo que impide el cierre completo de la válvula. Esto causa fugas y erosión del asiento, dañándolo permanentemente.

Las trampas con orificios pequeños son más susceptibles a la suciedad, salvo la trampa de cubeta invertida. Esta trampa tiene el orificio en el punto alto y las partículas grandes de suciedad caen en el punto bajo. Por la acción de la cubeta y la circulación del flujo dentro de la trampa, la suciedad se deshace en pedazos más pequeños; cuando son suficientemente pequeños para poder flotar hasta la superficie del líquido en la trampa, pasan a través del orificio.

### **2.3.1.6 Costo**

El costo por trampa en Guatemala varía según el tipo de trampa, los materiales que se usan, el tipo de construcción y la capacidad. No se puede comparar bien el costo de un tipo de trampa con otro debido a los muchos factores que influyen. Es importante mencionar que las trampas son relativamente baratas en comparación con las pérdidas de vapor que se pueden dar en ellas. Por ejemplo, si la pérdida normal de una trampa es de 2 lb/h de vapor, y la trampa opera 4,000 h/año en una planta donde el vapor cuesta Q.239.82/ton, véase capítulo 3, el costo de las pérdidas de vapor será:

$$\begin{aligned}2 \text{ lb/h} \times 4000 \text{ h/año} &= 8000 \text{ lb/año} = 4 \text{ ton/año} \\4 \text{ ton/año} \times \text{Q.239.82/ton} &= \text{Q. 959.28/año}\end{aligned}$$

Si la trampa empieza a perder más vapor de lo mínimo, las pérdidas fácilmente llegan y sobrepasan el costo de una nueva trampa, así que vale la pena gastar más en una buena trampa con la certeza de que se va a pagar durante su operación.

## **2.3.2 Selección de trampas por su capacidad**

Para poder obtener los beneficios de las trampas que se han descrito en las páginas anteriores es necesario que las trampas sean seleccionadas en el tamaño y para la presión correcta. En esta sección se presenta la información para realizar una selección adecuada de las trampas.

### **2.3.2.1 Carga de condensado**

La estimación de la cantidad de condensado que está generando cualquier equipo es importante por varias razones:

1. Para la instalación de la trampa adecuada
2. Para la instalación de la línea de retorno adecuada
3. Para conocer el balance del consumo de vapor en la planta

La cantidad de condensado se puede llegar a estimar de dos maneras: por medición y por cálculo.

#### **2.3.2.1.1 Estimación de condensado por medición**

La medición es la manera más precisa de obtener un estimado de la condensación, siempre y cuando se hagan las mediciones durante un período suficientemente largo para asegurar que el ciclaje de la trampa, el calentamiento del sistema, y otras variables, no influyan en el resultado final.



El equipo más recomendable y fácil de encontrar en una planta es un par de recipientes lo suficientemente grandes, conociendo su capacidad. El primero, lleno de agua sirve para enfriar la tubería de condensado, y el vapor instantáneo, que sale de la trampa. El segundo barril sirve como depósito de agua donde se puede determinar su masa, pesando o midiendo el volumen y la temperatura en el barril. Optativamente, el condensado se puede descargar en un barril o recipiente lleno de agua fría, pesándolo antes y después del flujo de condensado.

El método de medición de condensado nos brinda la ventaja de poder determinar la pérdida de vapor a través de la trampa, pudiéndose decidir basándose en esto si es necesario reemplazarla o no. Este método sirve para comprobar otros métodos de prueba. La medición de condensado conlleva también algunas limitaciones: necesita gran inversión de tiempo, cálculos de balance de masa y calor en el equipo de proceso.

#### **2.3.2.1.2 Estimación de condensado por cálculo**

El cálculo de la cantidad de condensado es menos preciso que una medición; sin embargo, existen casos en los cuales no se puede hacer una medición. Como ejemplo se puede mencionar el caso de la selección de una trampa, se necesita instalar una trampa de dimensiones adecuadas antes de poder medir la cantidad de condensado; la selección de la trampa se hace basándose en cálculos. Otro ejemplo puede ser una ubicación de equipo donde se dificulta una medición, y un cálculo es más apropiado. Para realizar este cálculo podemos utilizar diferentes fórmulas dependiendo la aplicación.

La siguiente tabla muestra la cantidad formada de lb de condensado/h por cada 100 pies de tubería de vapor aislada a 70 °F, a 0 °F incrementar 50%.

**Tabla II. Formación de lb de condensado/h por cada 100 pies de tubería.**

Presión de vapor	Tamaño de tubería					
	2"	3"	4"	6"	8"	10"
10	6	9	11	16	20	24
60	10	14	18	27	33	41
125	13	20	24	36	45	56
300	20	30	37	54	68	85
600	30	44	35	82	103	128

Fuente: ICAITI, Ahorro de energía en sistemas de vapor, pág. 215

Cuando la carga normal de condensado no se conoce, puede ser determinada aproximadamente por cálculos usando las siguientes fórmulas:

### **Líneas de Vapor *Tracer***

La carga aproximadamente es de 50 lb/h por cada 100 pies de *tracer*

## **FORMULARIO GENERAL**

### **Tuberías principales**

$$\text{factor (lb/h-pie)} \times \text{Longitud (pie)} = \text{condensado (lb/h)}$$

Para los valores del factor se puede utilizar la tabla III.

**Tabla III. Condensación en tuberías aisladas transportando vapor saturado en aire quieto a 70 °F. Eficiencia de aislamiento asumida 75%.**

presión, psig		15	30	60	125	180	250	450	600	900
Tam. tub.	pie <sup>2</sup> /pie	lb de condensado/h-pie								
1"	0.344	0.05	0.06	0.07	0.10	0.12	0.14	0.186	0.221	0.289
1¼"	0.434	0.06	0.07	0.09	0.12	0.14	0.17	0.231	0.273	0.359
1½"	0.497	0.07	0.08	0.10	0.14	0.16	0.19	0.261	0.310	0.406
2"	0.622	0.08	0.10	0.13	0.17	0.20	0.23	0.320	0.379	0.498
2½"	0.753	0.10	0.12	0.15	0.20	0.24	0.28	0.384	0.44	0.596
3"	0.916	0.12	0.14	0.18	0.24	0.28	0.33	0.460	0.546	0.714
3½"	1.047	0.13	0.16	0.20	0.27	0.32	0.38	0.520	0.617	0.807
4"	1.178	0.15	0.18	0.22	0.30	0.36	0.43	0.578	0.686	0.897
5"	1.456	0.18	0.22	0.27	0.37	0.44	0.51	0.698	0.826	1.078
6"	1.735	0.20	0.25	0.32	0.44	0.51	0.59	0.809	0.959	1.253
8"	2.260	0.27	0.32	0.41	0.55	0.66	0.76	1.051	1.244	1.628
10"	2.810	0.32	0.39	0.51	0.68	0.80	0.94	1.301	1.542	2.019
12"	3.340	0.38	0.46	0.58	0.80	0.92	1.11	1.539	1.821	2.393
14"	3.670	0.42	0.51	0.65	0.87	1.03	1.21	1.688	1.999	2.624
16"	4.200	0.47	0.57	0.74	0.99	1.19	1.38	1.927	2.281	2.997
18"	4.710	0.53	0.64	0.85	1.11	1.31	1.53	2.151	2.550	3.351
20"	5.250	0.58	0.71	0.91	1.23	1.45	1.70	2.387	2.830	3.725
24"	6.280	0.68	0.84	1.09	1.45	1.41	2.03	2.833	3.364	4.434

Fuente: ICAITI, Ahorro de energía en sistemas de vapor, pág. 215

### **Calentando agua con vapor**

$$\text{lb condensado/h} = \text{GPM}/4 \times \text{temperatura de salida, } ^\circ\text{F}$$

### **Calentando aceite combustible con vapor**

$$\text{lb condensado/h} = \text{GPM}/4 \times \text{temperatura de salida, } ^\circ\text{F}$$

### **Calentando aire con serpentines de vapor**

$$\text{lb condensado/h} = \frac{\text{pies}^3/\text{min}}{900} \times \text{temperatura de salida, } ^\circ\text{F}$$

## **APLICACIONES ESPECÍFICAS**

### **Esterilizadores, marmitas, retortas de calentamiento de material sólido**

$$\text{lb condensado/h} = \frac{W \times C_p \times T}{L \times t}$$

donde:

W = peso del material, lb

C<sub>p</sub> = calor específico del material

T = temperatura de salida del material, °F

L = calor latente de vapor h<sub>fg</sub>, Btu/lb

t = tiempo en horas

### Calentamiento de líquidos con vapor en marmitas encamisadas

$$\text{lb condensado/h} = \frac{G \times g.s. \times C_p \times T \times 8.3}{L \times t}$$

donde:

- G = galones de líquido a ser calentado
- g.s. = gravedad específica del líquido
- C<sub>p</sub> = calor específico del líquido
- L = calor latente del vapor h<sub>fg</sub>, Btu/lb
- T = temperatura de salida del líquido, °F
- t = tiempo en horas

### Secadores de vapor encamisados

$$\text{lb condensado/h} = \frac{1,000(W_i - W_f) + (W_i \times T)}{L}$$

donde:

- W<sub>i</sub> = peso inicial del material, lb/h
- W<sub>f</sub> = peso final del material, lb/h
- T = temperatura de salida del material, °F
- L = calor latente del vapor h<sub>fg</sub>, Btu/lb

## Calentamiento de aire con vapor: serpentines y radiación

$$\text{lb condensado/h} = \frac{A \times U \times T}{L}$$

donde:

A = área de la superficie de calentamiento en m<sup>2</sup>

U = coeficiente de transferencia de calor kJ/hr•m<sup>2</sup>•°C. Ver tablas IV y V.

T = temperatura del vapor menos la temperatura del aire, °C

L = calor latente de vapor, kJ/kg

Tabla IV. Valores de U para serpentines tubulares en MJ/hr•m<sup>2</sup>•°C

Tipo de Servicio	Circulación	
	Natural	Forzada
Vapor a Agua	1.0 – 4.0	3.0 – 24
Calentador de tubos de 40 mm	3.6	9.0
Calentador de tubos de 75 mm	4.0	10
Vapor a Aceite	0.2 – 0.6	1.0 – 3.0
Vapor a Líquido Hirviendo	6 – 16	---
Vapor a Aceite Hirviendo	1.0 – 3.0	---

Fuente: Amrstrong, Manual para la conservación de vapor, Pág. 29

**Tabla V. Valores de U para serpentines estampados en MJ/hr•m<sup>2</sup>•°C**

Tipo de Servicio	Circulación	
	Natural	Forzada
Vapor a soluciones acuosas	2.0 – 4.0	3.0 – 5.5
Vapor a aceite ligero	0.8 - 0.9	1.2 – 2.2
Vapor a aceite medio	0.4 – 0.8	1.0 – 2.0
Vapor a combustible C	0.3 – 0.6	0.8 – 1.6
Vapor a brea asfáltica	0.5 – 0.7	0.4 – 1.2
Vapor a sulfuro líquido	0.5 – 0.7	0.7 – 0.9
Vapor a parafina líquida	0.4 – 0.8	0.8 – 1.0
Vapor a melaza o jarabe	0.3 – 0.6	1.4 – 1.8

Fuente: Amrstrong, manual para la conservación de vapor, Pág. 29

### 2.3.2.2 Factor de seguridad

El factor de seguridad es un multiplicador que se aplica al condensado calculado para una aplicación dada para asegurar que la trampa seleccionada tenga la capacidad adecuada. La necesidad del factor de seguridad proviene de:

1. Cargas más altas durante el arranque del sistema y equipo
2. Cargas variables durante la operación
3. La necesidad de sobredimensionar la trampa, especialmente en casos de cubeta invertida, para eliminar aire del sistema con rapidez
4. La posibilidad de contrapresión en el sistema de condensado

Los factores de seguridad comúnmente varían entre 1 y 6; y son diferentes según el tipo y el fabricante de la trampa, tabla VI.

**Tabla VI. Factores de seguridad para diferentes aplicaciones**

Aplicación	Factor de seguridad	
	Fabricante A	Fabricante B
Autoclaves	3-4	3
Evaporadores		2-3
Marmitas	4-5	3
Serpentines en aire	3-4	3
Intercambiadores concha y tubo		
• presión constante	4-6	2
• presión modulada		2-5
Calentadores de aire	3-4	2-3
Ramales de vapor	3-4	2-3
Separadores	3-4	2-3
Líneas rastreadoras	2-3	2

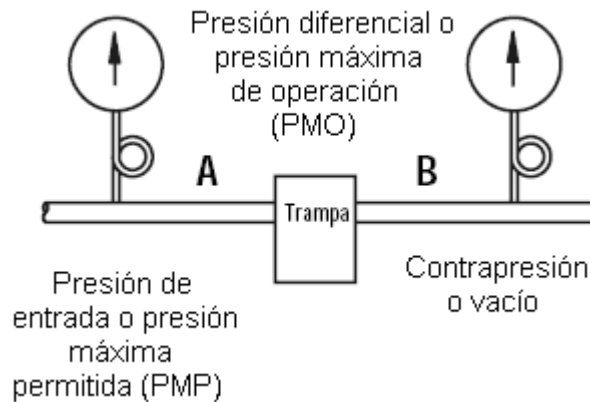
Un Factor de Seguridad adecuado es requerido para obtener el mejor rendimiento, pero un factor demasiado alto causa problemas. Además del costo más alto de la trampa y de su instalación, una trampa que se especifica demasiado grande se va a desgastar más rápido. Cuando la trampa llegue a fallar, las pérdidas de vapor son mayores, lo cual puede ocasionar golpe de ariete y alta contrapresión en el sistema de retorno.



### 2.3.2.3 Diferencia de presiones

**Diferencial Máximo:** es la diferencia entre la presión de la caldera, del cabezal de vapor, o de la salida de una válvula reguladora de presión, y la presión de la línea de retorno, figura 7. Una trampa debe de ser capaz de abrir venciendo esta presión diferencial.

**Figura 7. Diferencia de presiones**



**Diferencial de Operación:** cuando la planta está operando a toda capacidad, la presión del vapor a la entrada de la trampa puede ser menor que la presión del cabezal de vapor. Y la presión en el cabezal de retorno de condensado puede estar a presión mayor que la atmosférica. Si el diferencial de operación es al menos un 80% del diferencial máximo, es seguro el usar el diferencial máximo para la selección de las trampas.

La presión de entrada puede caer por debajo de su valor normal debido a:

1. Una válvula de control o un regulador de temperatura.
2. Drenaje por sifón. Por cada metro de elevación entre el punto de drenaje y la trampa se reduce la presión de entrada, y la diferencial, en 0.1 bar.

La presión de descarga puede subir de su valor normal debido a:

1. Fricción en la tubería.
2. Otras trampas descargando en un sistema de retorno de capacidad limitada.
3. Elevando el condensado. Por cada metro de elevación se incrementa la presión de descarga, y la diferencial, en 0.1 bar, si la descarga es solamente condensado. Sin embargo, cuando existe vapor *flash*, la contrapresión adicional puede reducirse hasta cero.

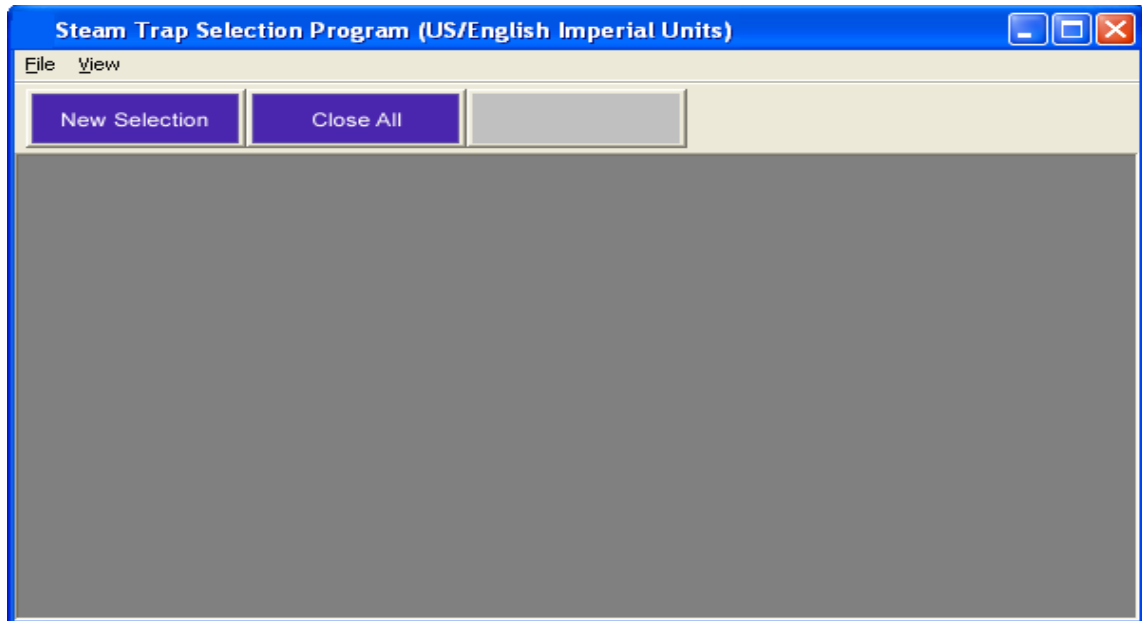
#### **2.3.2.4 Presión máxima permitida**

La trampa debe ser capaz de aguantar la máxima presión permitida en el sistema o la presión de diseño. Tal vez no sea necesario que opere a esta presión, pero debe ser capaz de aguantarla. Por ejemplo: si la máxima presión de entrada es 26 bar y la presión en la línea de retorno es 11 bar, esto resulta en una presión diferencial de 15 bar, sin embargo, la trampa debe de aguantar la presión máxima posible de 26 bar.

#### **2.3.3 Utilización de *software* en la selección de trampas**

Hoy en día se posee gran cantidad de instrumentos que nos ayudan a realizar algún trabajo, entre éstos encontramos los programas para computadora o *software*, figura 8. Estos programas vienen a eliminar en gran parte los errores humanos tanto en la medición como en la selección de las trampas. Los ingenieros y las personas encargadas de velar por la construcción de algún sistema de vapor o de su mantenimiento, deben apoyarse en la tecnología moderna, de esta manera agilizar la planeación y realización de proyectos.

**Figura 8. Software para selección de trampas de vapor**

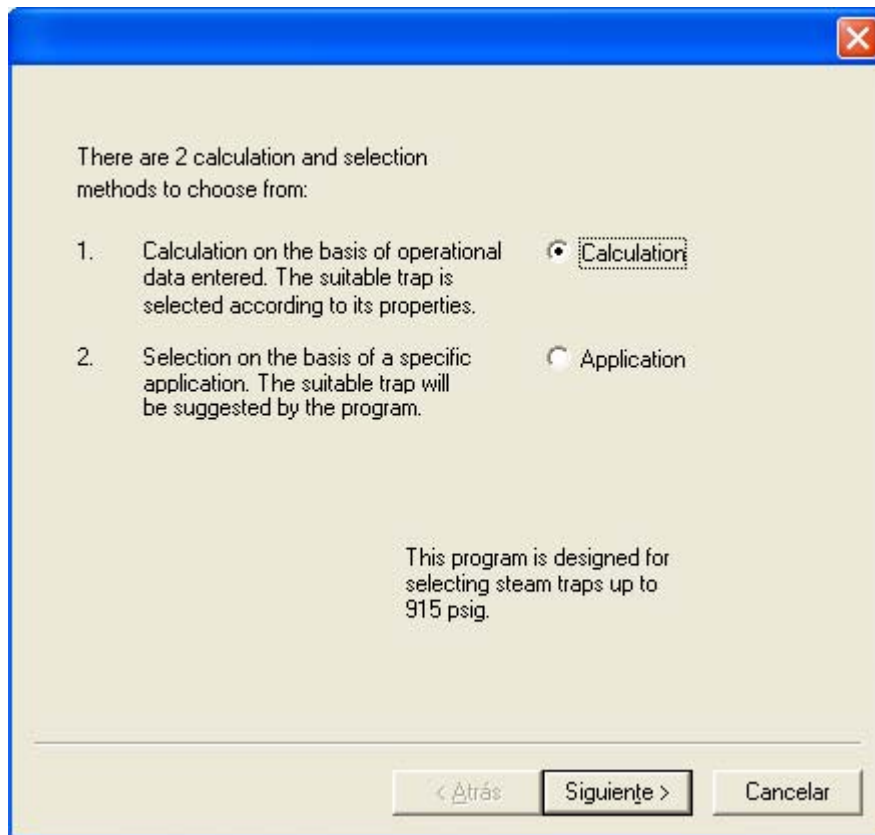


### **2.3.3.1 Selección basada en datos de operación**

En el mercado existe diversidad de empresas que presentan *software* para selección de trampas de vapor, depende del usuario optar por alguna de ellas tomando en cuenta la calidad del *software* y los estándares que maneja la compañía de su elección.

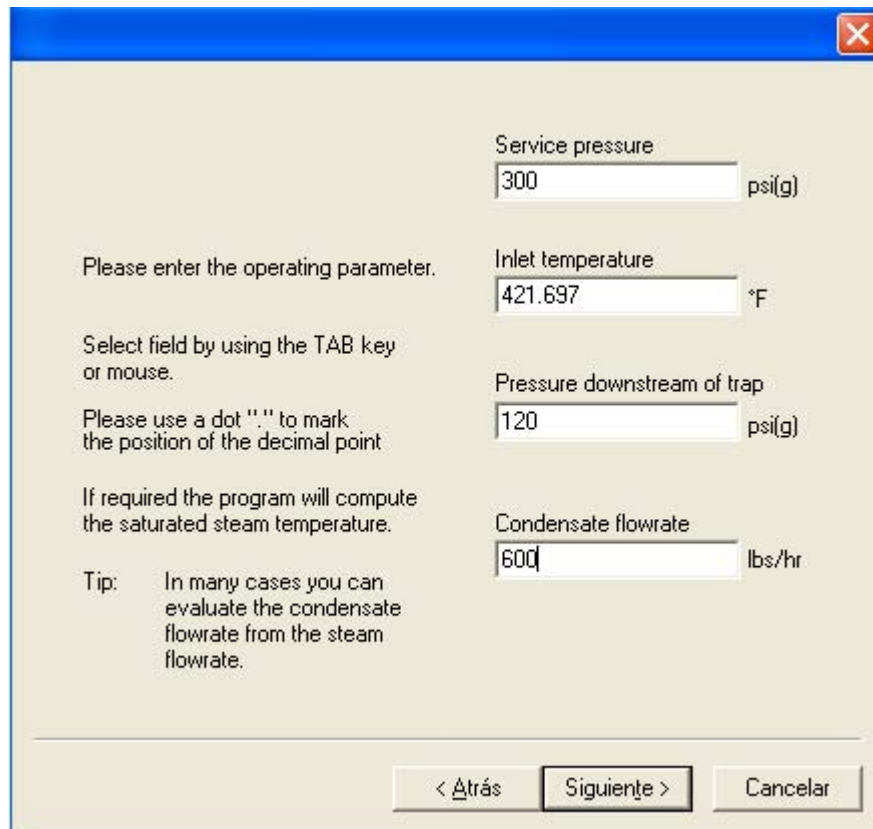
Existen diferentes maneras de seleccionar una trampa de vapor como lo vimos anteriormente, cuando utilizamos el *software* nos presenta dos opciones para selección (figura 9).

**Figura 9. Opciones de selección en el software para trampas**



Cuando poseemos datos de operación de alguna trampa que queremos seleccionar es recomendable utilizar la opción de cálculo, figura 10. El programa seleccionará la trampa que más convenga de acuerdo a sus propiedades. Lo que se debe hacer es ingresar la presión de operación de la trampa, la temperatura de vapor, el programa la ingresa automáticamente al momento de colocar la presión de operación, la presión de descarga y la cantidad de condensado a purgar.

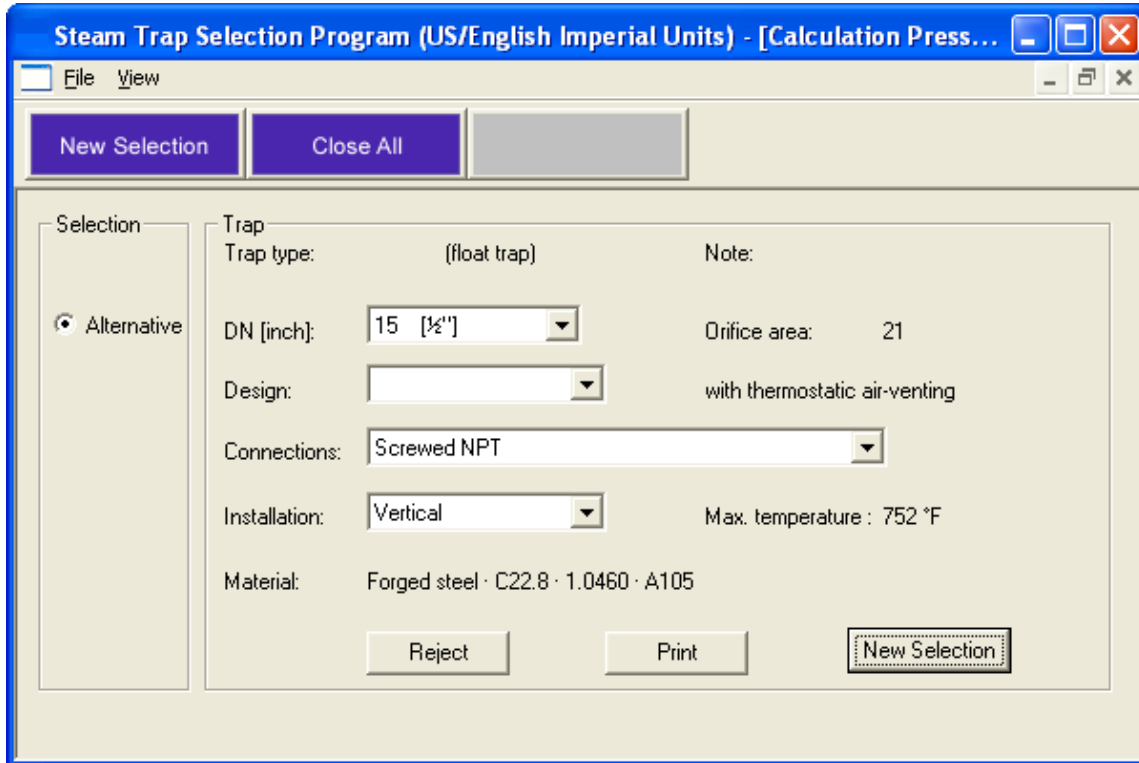
**Figura 10. Ingreso de datos de operación de la trampa**



The image shows a software dialog box with a blue title bar and a close button (X) in the top right corner. The background is a light beige color. On the left side, there is instructional text: "Please enter the operating parameter.", "Select field by using the TAB key or mouse.", "Please use a dot '.' to mark the position of the decimal point.", "If required the program will compute the saturated steam temperature.", and a "Tip: In many cases you can evaluate the condensate flowrate from the steam flowrate." On the right side, there are four input fields with labels and units: "Service pressure" with a value of "300" and unit "psi(g)"; "Inlet temperature" with a value of "421.697" and unit "°F"; "Pressure downstream of trap" with a value of "120" and unit "psi(g)"; and "Condensate flowrate" with a value of "600" and unit "lbs/hr". At the bottom of the dialog box, there are three buttons: "< Atrás", "Siguiente >", and "Cancelar".

Luego de ingresados los datos el *software* presenta la opción de trampa (figura 11) que podemos utilizar en nuestro proyecto.

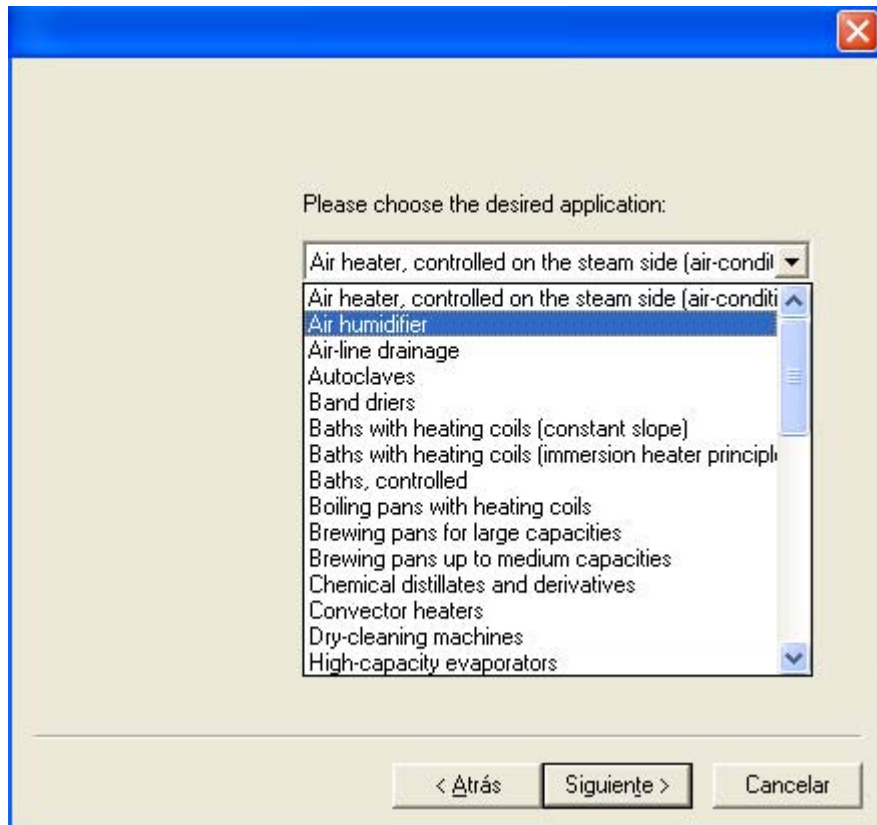
**Figura 11. Trampa seleccionada por el programa**



### **2.3.3.2 Selección basada en la aplicación específica**

También el *software* permite realizar la selección de acuerdo a una aplicación específica. Allí encontramos diversidad de aplicaciones que podemos seleccionar (figura 12). Si la aplicación que se busca no se encuentra dentro de las opciones, podemos elegir alguna aplicación que se asemeje a la que requerimos.

**Figura 12. Opciones de aplicación para la selección de trampas**



### 2.3.4 Ejemplo de selección de trampas

La selección de una trampa conlleva 5 pasos que se dan en detalle a continuación:

1. Tipo de trampa

Según la aplicación, con las sugerencias del fabricante o su representante, se escoge el tipo de trampa adecuado.

2. Calcular la carga de condensado

Con la ayuda de las fórmulas presentadas con anterioridad se puede llegar a una buena aproximación de la carga de condensado.

3. Aplicar el factor de seguridad

Es importante saber que los fabricantes usan diferentes factores de seguridad. Multiplicar la carga de condensado calculada por el factor de seguridad.

4. Determinar la presión diferencial

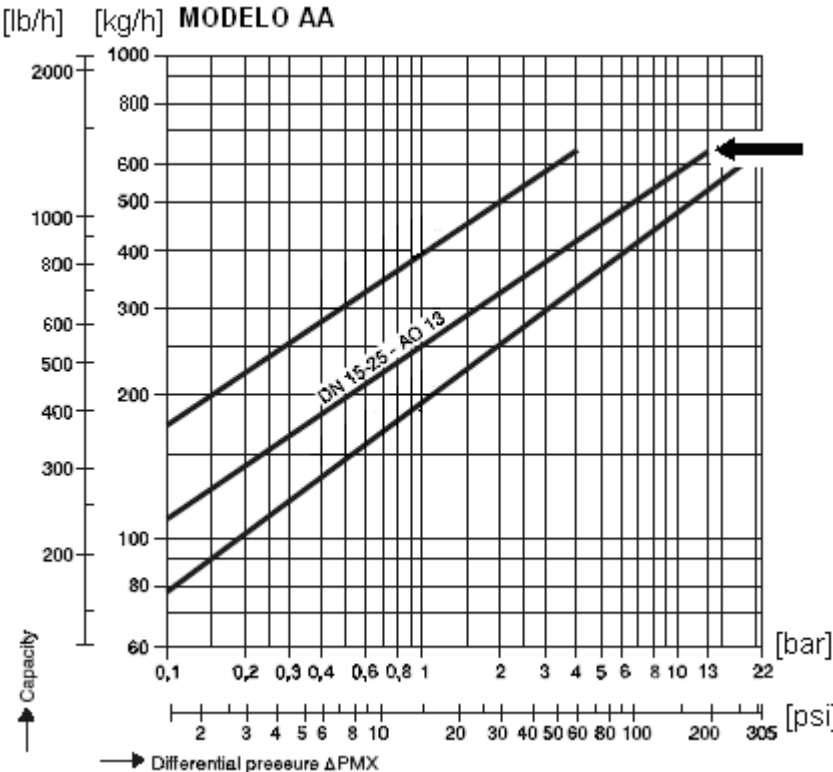
Del lado de vapor la presión es conocida, pero del lado del condensado tiene que tomarse en cuenta la presión final del sistema, la distancia de la trampa al punto de presión final, y la elevación del sistema.

5. Seleccionar la trampa

Usando cuadros, tablas o graficas similares a la de la figura 13 y 13a suministrados por el fabricante, con los datos 3 y 4, la selección de la trampa es sencilla.

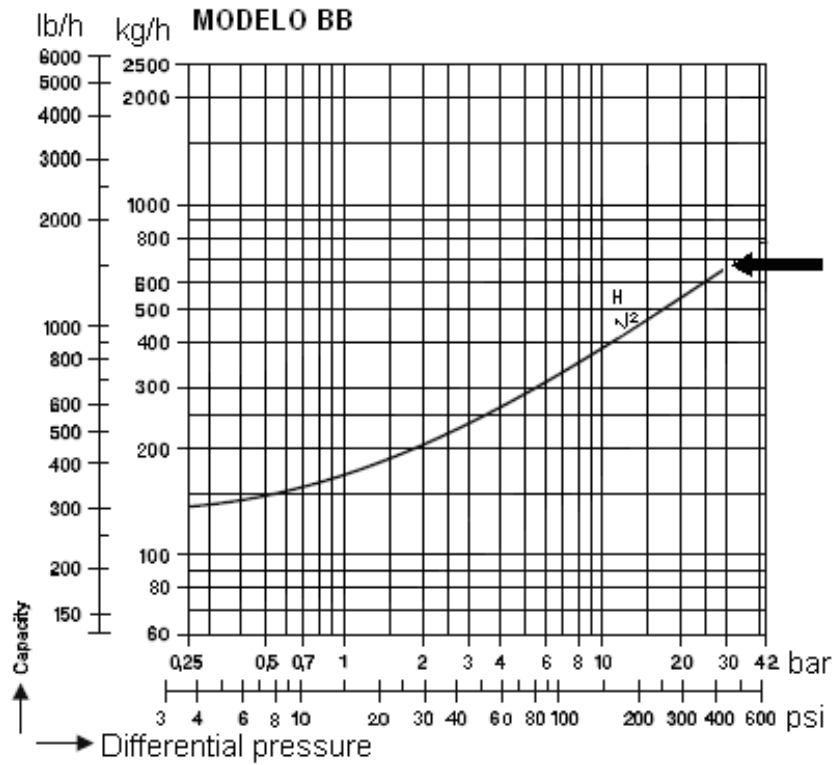


**Figura 13. Gráfica presión vrs capacidad para la trampa de flote y termostato modelo AA**



Fuente: Gestra, manual para trampas de vapor y válvulas industriales, pág. 12

**Figura 13a. Gráfica presión vrs capacidad para la trampa termodinámica modelo BB.**



Fuente: Gestra, manual para trampas de vapor y válvulas industriales, pág. 21

Ejemplo:

El tramo más largo de la tubería principal de vapor de 12 plg de diámetro necesita una trampa al final, después de 260 pies. El vapor se distribuye a 125 psig, y el condensado se regresa a un tanque atmosférico. ¿Cuál trampa y qué modelo se escogería para esta aplicación?

1. En este caso la carga será baja, y se puede pensar en una trampa de flote y termostato o también en la termodinámica de disco. La aplicación de la cubeta sería más común para algunos fabricantes, pero, este tipo de trampa trabaja con pérdida de vapor vivo.
2. La carga de condensado calculada con la ayuda de la sección 2.3.2.1.2 y la tabla III sería:

$$0.80 \text{ lb/h-pie} \times 260 \text{ pie} = 208 \text{ lb/h}$$

3. El factor de seguridad es 3, según la tabla VI.

$$208 \text{ lb/h} \times 3 = 624 \text{ lb/h}$$

4. La presión diferencial es de 125 psi
5. Para la trampa de flote y termostato se escogería el modelo AA según la figura 13 que tiene capacidad máxima de 1400 lb/h. Para la trampa de disco, se seleccionaría el modelo BB que tiene una capacidad suficiente para la cantidad de condensado generado.

### 2.3.5 Ejemplo de selección con el software para trampas

Tomando los datos del ejemplo de la sección anterior aplicaremos el software para realizar la selección (figura 14).

Datos:

Presión de trabajo: 125 psig

Presión de descarga: a un tanque atmosférico

Condensado : 624 lb/h

Figura 14. Ejemplo de selección de trampa por medio del software

Service pressure  
125 psi(g)

Please enter the operating parameter.

Inlet temperature  
352.753 °F

Select field by using the TAB key or mouse.

Please use a dot "." to mark the position of the decimal point

Pressure downstream of trap  
0 psi(g)

If required the program will compute the saturated steam temperature.

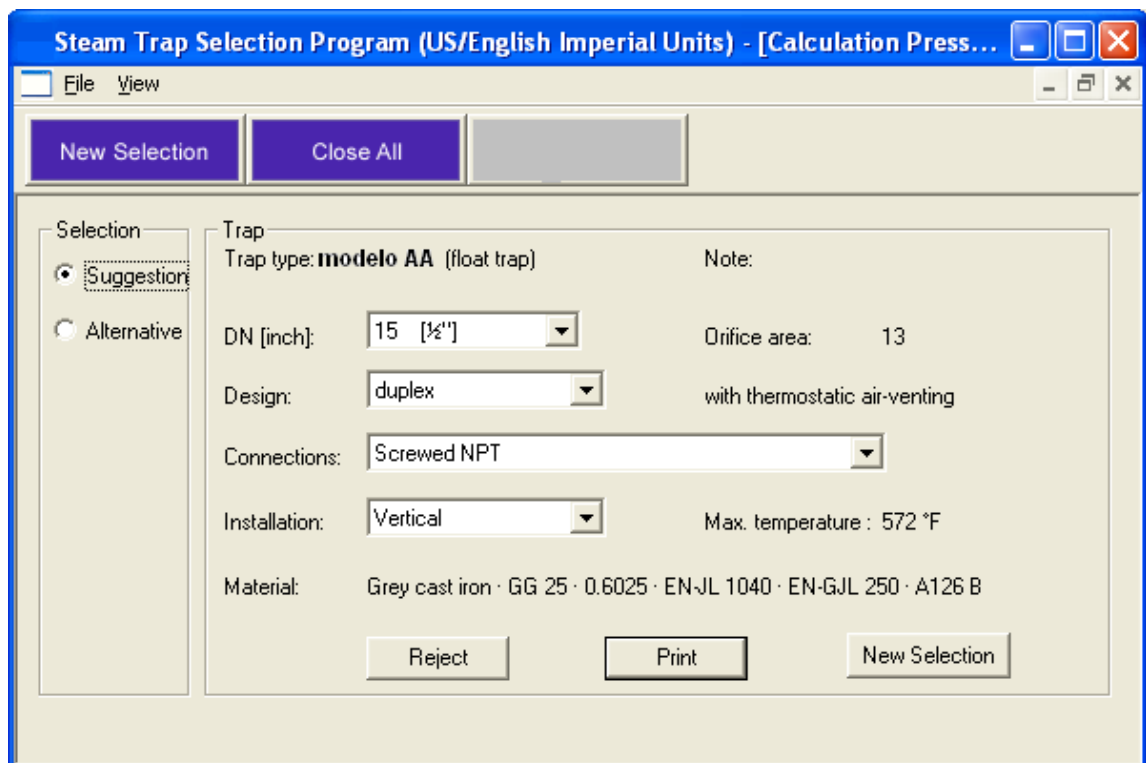
Condensate flowrate  
624 lbs/hr

Tip: In many cases you can evaluate the condensate flowrate from the steam flowrate.

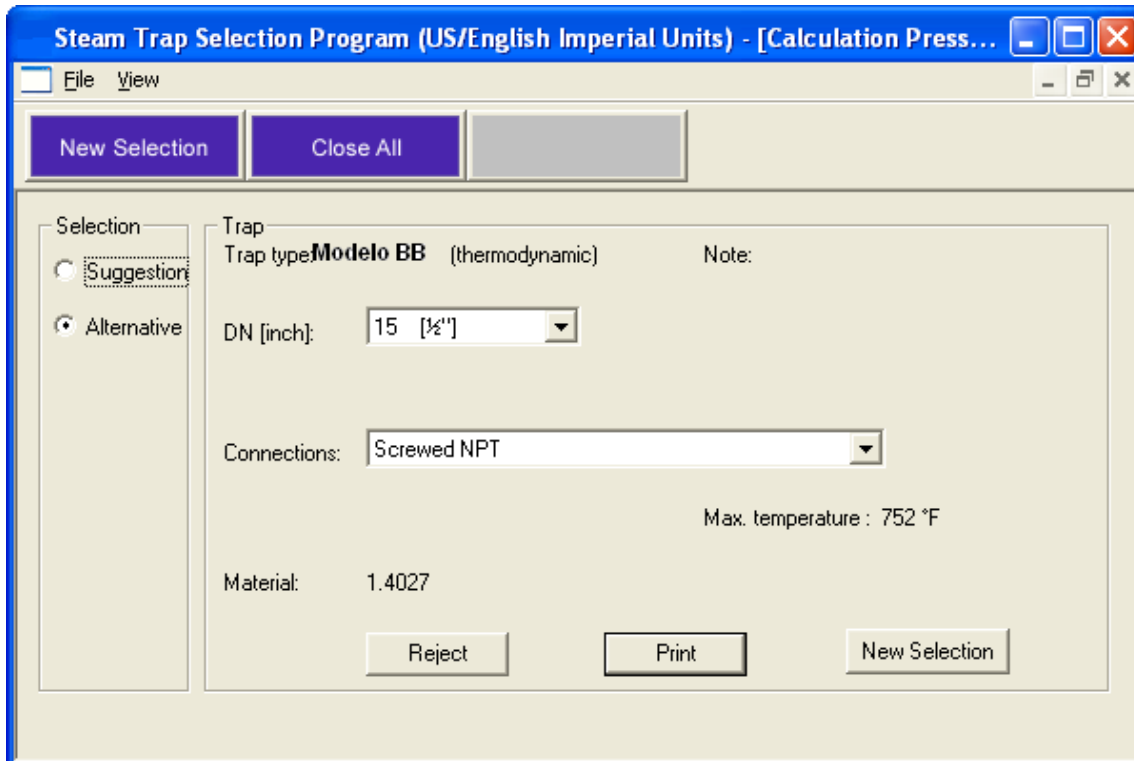
< Atrás    Siguiete >    Cancelar

Con los valores ingresados en el *software* obtenemos la trampa sugerida en la figura 15 y una alternativa en la figura 16 para poder utilizar cualquiera de las dos trampas.

**Figura 15. Trampa seleccionada por medio del programa**



**Figura 16. Alternativa de trampa**



Como se puede observar en la figura 15 y 16 el *software* presentó las mismas trampas que se habían seleccionado sin la utilización del programa.

## **2.4 Métodos de inspección de las trampas de vapor**

Igual que en la selección y el cálculo de las pérdidas, el poder comprobar que una trampa esté o no esté funcionando bien es una combinación de arte y ciencia, donde la experiencia es el mejor entrenador. A continuación se discuten los métodos comúnmente usados para comprobar la operación de trampas.

### **2.4.1 Sonido**

La prueba de sonido aprovecha los diferentes sonidos que tiene el flujo de un líquido, el flujo de un gas, y el cerrar una válvula metálica. El medidor se coloca lo más cerca posible de la salida de la trampa (figura 17). Con experiencia se pueden llegar a identificar no sólo las diferencias en tipos de flujos, sino también los sonidos característicos de las diferentes trampas.

**Figura 17. Colocación del medidor en la trampa**



#### **2.4.1.1 Detector ultrasónico**

El medidor de sonido capta y procesa oscilaciones ultrasónicas en la superficie del cuerpo de los purgadores de condensado instalados, que se producen cuando fluye un caudal a través de ellos. Existen sistemas de monitorización, registro y evaluación compatibles con todos los tipos y marcas de purgadores. Las señales recibidas durante la prueba se visualizan en la pantalla del ordenador en forma de curva, permitiendo detectar visualmente purgadores defectuosos que dejen escapar vapor vivo. Los resultados de las pruebas obtenidos por el terminal portátil son almacenados, evaluados y organizados en una computadora.

Aparte de la prevención de pérdidas de vapor la optimización de la entera instalación de vapor y condensado constituye una tarea de primer orden con miras a aumentar la rentabilidad y economía de la producción. Gracias a una utilización óptima del portador energético vapor de agua incluso hoy en día se pueden realizar ahorros de energía hasta aproximadamente de un 30 %.

### **2.4.2 Temperatura**

Dentro de los métodos utilizados para la inspección de trampas de vapor se encuentra también el de temperatura. En este método se utiliza equipo de prueba que va desde el más sencillo a equipos muy complicados. Un frasco con agua es más que suficiente para determinar si la trampa está caliente o fría: si no se evaporan rápidamente las gotas de agua rociadas sobre la superficie de la trampa, es probable que ha fallado cerrada. Dentro del equipo que se utiliza con más frecuencia está el pirómetro digital, el cual nos proporciona mayor precisión en la lectura de la temperatura.

#### **2.4.2.2 Pirómetro digital**

La prueba de temperatura se basa en el hecho de que el vapor a alta presión de un lado de la trampa tiene una temperatura más alta que el condensado a baja presión del otro lado. Aunque esto es cierto, la temperatura del lado del condensado corresponderá a la presión de saturación, y una alta temperatura del lado del condensado puede indicar alta contrapresión, y no una mala trampa. Se ha hablado de medir la temperatura en la descarga y ver si varía con la descarga cíclica de la trampa. Sin embargo, mucho equipo de medición no tiene tiempo de respuesta inmediata, y muchas trampas ciclan demasiado rápido para advertir una variación marcada en la temperatura.



La calidad de la superficie, buen contacto, buena emisividad, puede afectar la confiabilidad de las lecturas, y de todos modos existe un gradiente de temperatura a través de la película interior y la pared de la tubería. La única prueba que se puede hacer con certeza al medir la temperatura es la comprobación de si la trampa ha fallado cerrada. En la figura 18 se muestra un pirómetro digital, utilizado en la inspección de trampas de vapor.

Figura 18. Pirómetro digital



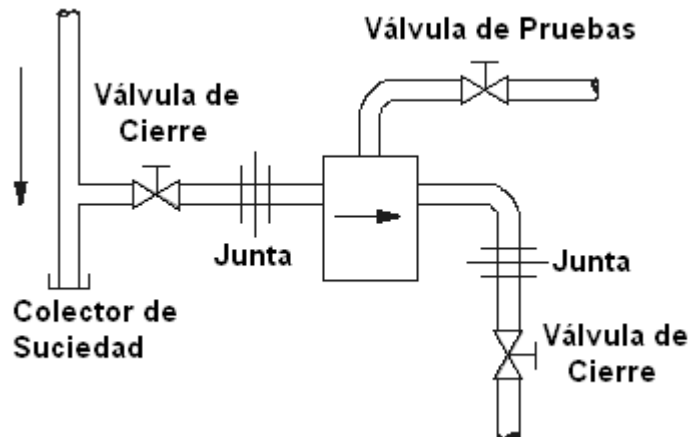
### **2.4.3 Visual**

La inspección visual es otro método para poder verificar el funcionamiento de una trampa de vapor. Dentro de este tipo de inspección encontramos la válvula de purga y la mirilla las cuales se explican a continuación.

#### **2.4.3.1 Válvula de purga**

La inspección visual permite entender casi exactamente el funcionamiento de la trampa a través de la observación de la salida de la trampa. Normalmente se instala una T en la salida de la trampa y una válvula de tres pasos para que se pueda dejar paso de la trampa al ambiente (figura 19), o a la línea de retorno de condensado.

**Figura 19. Válvula de purga para inspección visual**



Para efectuar una buena inspección visual, se necesita reconocer la diferencia entre el vapor vivo y el vapor instantáneo. El vapor instantáneo o *flash* es de baja velocidad, empieza a subir rápidamente, y normalmente aparece con el condensado. El vapor vivo es un chorro más fuerte y bien definido e invisible hasta la primera pulgada después de la salida de la tubería.

#### **2.4.3.2 Mirilla**

Las mirillas (figura 20) visualizan los flujos que se producen dentro de las tuberías. Gracias a la simplificación del control de las tuberías del condensado, control de los purgadores y superficies de calefacción, toda deficiencia se detecta a tiempo y se evitan las interrupciones de la producción.

**Figura 20. Mirilla para sistemas de vapor**



Fuente: Gestra, Manual para trampas de vapor y válvulas industriales

### **Funcionamiento**

En virtud de la diferencia de peso específico, los fluidos gaseosos, vapor, fluyen por encima de los líquidos, condensados. La mirilla aprovecha este hecho para controlar los distintos estados de funcionamiento: en la bolsa de agua formada por el condensado penetra desde arriba el deflector. El condensado o el vapor han de pasar por el sifón junto al deflector. De este modo, en la mirilla se refleja claramente la situación.

### **Funcionamiento normal, figura 21**

El purgador de condensado y la superficie de calefacción funcionan perfectamente. El deflector está inmerso en el agua. La escasa formación de burbujas o los pequeños torbellinos dentro de la bolsa de agua no tienen ningún significado negativo.

**Figura 21. Funcionamiento normal**



### **Paso de vapor vivo, figura 22**

El vapor presiona hacia abajo el nivel de agua. El vapor, que por sí mismo no es visible, ocupa el espacio entre el nervio inversor y el nivel de agua. Una fuerte mezcla del agua con vapor puede dar lugar a una intensa formación de burbujas y de torbellinos según la cantidad existente. Posible causa: el paso de vapor vivo puede reflejar la presencia de suciedad o un defecto en el purgador de condensado.

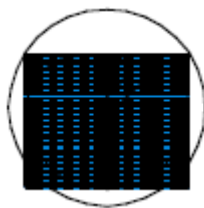
**Figura 22. Paso de vapor vivo**



### **Retención de condensado, figura 23**

La mirilla está inundada de condensado. Si la mirilla está instalada directamente detrás de la superficie de calefacción, cabe concluir que la retención llega a la misma. Posibles causas: puesta en marcha de la instalación, funcionamiento con retención artificial, variación de las condiciones de servicio, por ejemplo demanda extrema de calor, trampa de vapor de tamaño insuficiente, sucio o defectuoso.

**Figura 23. Retención de condensado**



#### 2.4.4 Automática

Los fabricantes están haciendo investigaciones y desarrollando nuevos productos para ayudar en la comprobación de trampas. Estos productos se pueden adquirir tomando en cuenta la ubicación de la trampa, el método de inspección que requiere la empresa y el tipo de trabajo que realiza la trampa, en algunos casos la trampa se encuentra realizando un trabajo en donde se requiere una inspección minuciosa debido a lo crítico del proceso.

##### 2.4.4.1 Comprobación remota

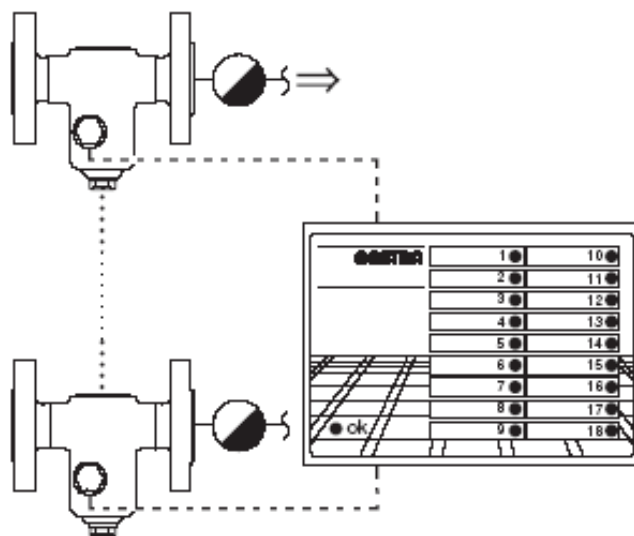
Se puede encontrar un dispositivo relativamente barato que se instala en la línea de la trampa, figura 24, y al conectar el dispositivo a un sensor especial puede determinarse inmediatamente si la trampa está funcionando bien o no.

**Figura 24. Sensor instalado en línea de vapor para su comprobación**



Otro fabricante ofrece un sensor integral a la trampa, figura 25, que se puede conectar a un panel de luces, que automáticamente indicará el buen o mal estado de una serie de trampas. En fin, nuevas tecnologías se están desarrollando para ayudar en la difícil tarea de hacer pruebas de operación de trampas; sin embargo, plantas que no disponen con el capital necesario para invertir en sistemas sofisticados pueden utilizar los métodos de pruebas explicados con anterioridad.

**Figura 25. Sistema automático de prueba de trampas**



## **2.5 Instalación de trampas de vapor**

Con la correcta instalación de trampas, en una fábrica, es posible corregir los errores que se presentan en varios lugares. A continuación se presentan algunos consejos generales que pueden contribuir a que las instalaciones sean más eficientes.

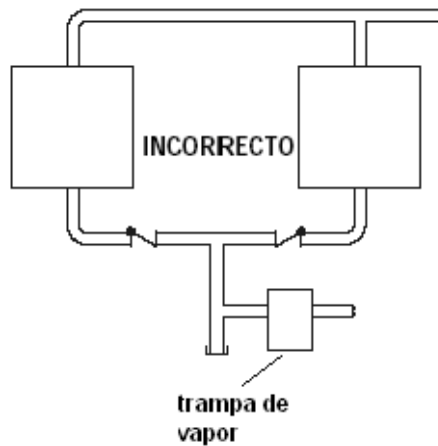
### **2.5.1 Consideraciones básicas**

La distribución del vapor desde la caldera al lugar de utilización es de gran importancia. Se debe producir vapor de buena calidad, con el requerimiento adecuado y la presión deseada, corrigiendo al mínimo las pérdidas de calor.

#### **2.5.1.1 Corto circuito**

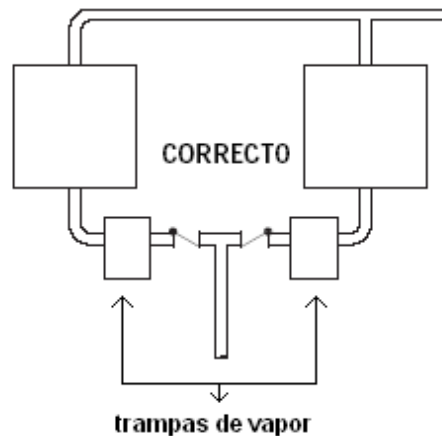
Cuando se tiene una sola trampa conectada a más de una tubería de descarga, figura 26, es posible que el condensado y el aire de una o más de las unidades en operación no puedan llegar hasta la trampa. Cuando hay cualquier diferencia en las cantidades de condensado de cada unidad se tendrá una diferencia en la caída de presión del vapor. Y una pequeña diferencia de presiones es suficiente para permitir que vapor de la unidad con presión más alta bloquee el flujo de aire y condensado de la unidad con presión más baja. El resultado final es una reducción en la capacidad de calentamiento, en la capacidad de condensados y un desperdicio de combustible.

**Figura 26. Instalación de trampas de vapor en corto circuito**



La solución al corto circuito y la forma adecuada de instalación de trampas es la utilización de una trampa para cada dispositivo (figura 27). De esta manera se obtiene un intercambio de energía más eficiente y un ahorro en el consumo de combustible.

**Figura 27. Instalación correcta de trampas de vapor**

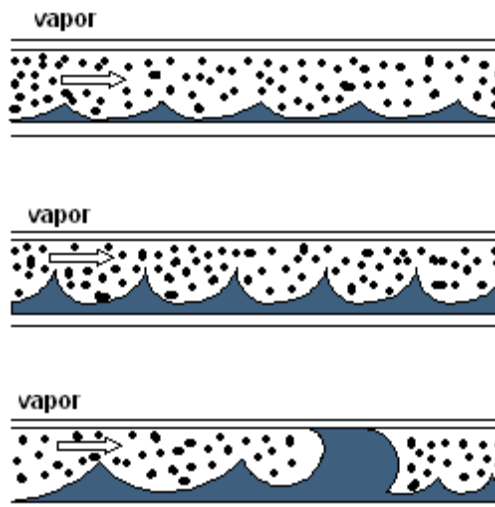




### 2.5.1.2 Inclínación adecuada y drenaje

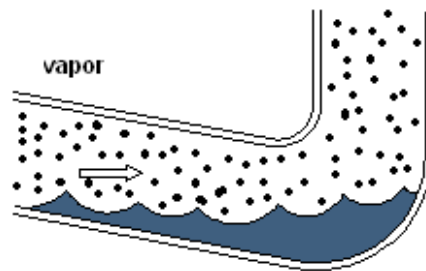
Un sistema de distribución de vapor constantemente dará mayores problemas que cualquier otro servicio en tuberías ya que contiene vapor y agua. Desde que el vapor sale de la caldera, parte empieza a condensarse de acuerdo a la pérdida de calor a través de la tubería; esta cantidad de condensado será más pesada al inicio de la operación. La figura 28 presenta la forma en que el condensado se genera en una tubería recta. Las gotas de condensado pueden formar una masa voluminosa fluyendo a la velocidad del vapor ocasionando golpe de ariete, causando graves daños a la tubería y accesorios.

**Figura 28. Generación de condensado en una tubería recta**



El golpe de ariete será mayor si la tubería está muy inclinada. En codos hacia arriba la tubería puede llegar a inundarse acelerando la posibilidad de golpe de ariete especialmente si no existe un drenaje de condensado con trampa en este punto; este comportamiento se presenta en la figura 29; además, el área estrangulada de paso de vapor debido a la presencia de agua origina una gran caída de presión. Esta condición puede causar arrastre de agua en el vapor y aumenta la caída de presión del vapor debido al área reducida para el paso del vapor.

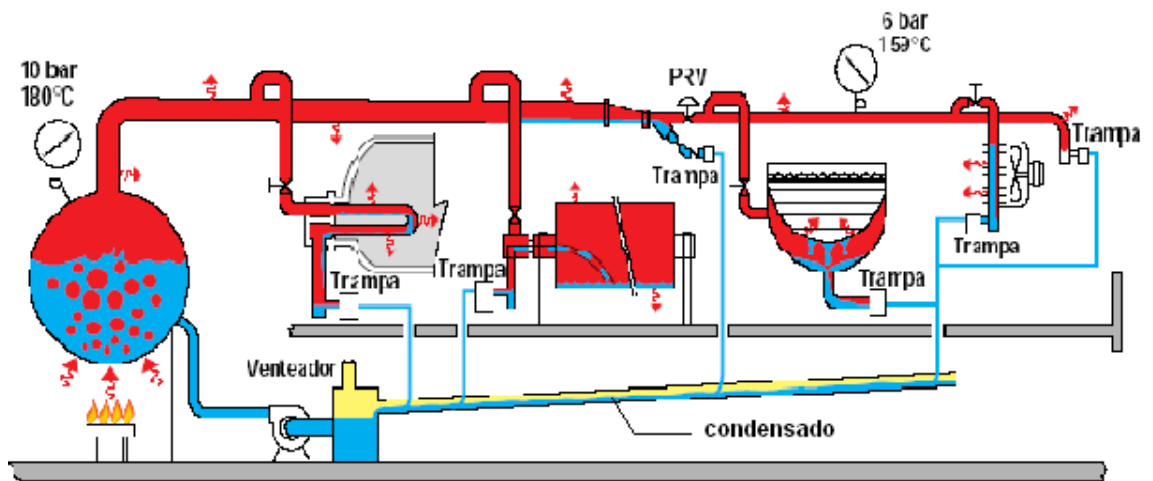
**Figura 29. Acumulación de condensado**



Para la inclinación y drenaje adecuados, deben tomarse en cuenta los siguientes aspectos:

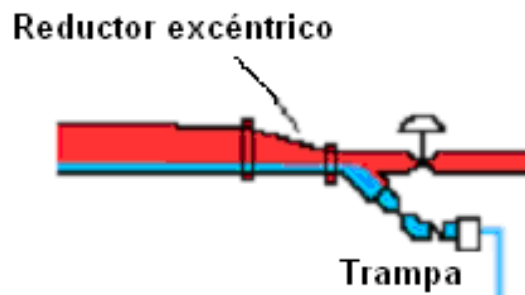
- Las líneas de vapor deberán ser colocadas con descenso en dirección del flujo. Un descenso de 1 ½ pulgada por cada 33 pies será suficiente, permitiendo esta inclinación que el condensado sea transportado fácilmente por el flujo de vapor hacia el punto de drenaje. Si por condiciones de la planta es absolutamente necesario colocar la tubería horizontal, será indispensable instalar drenajes más frecuentes.
- Los drenajes son más efectivos donde la tubería cambia de dirección (figura 30).

**Figura 30. Sistema de drenaje con su respectiva trampa de vapor**



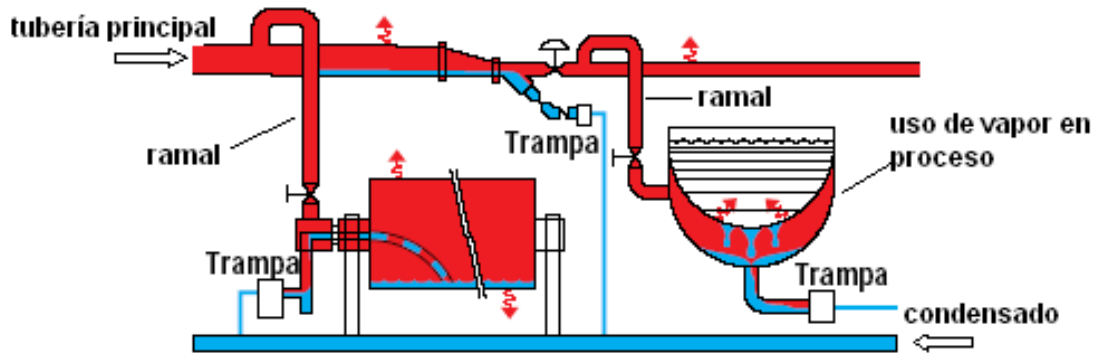
- En las líneas de vapor no deberán colocarse reductores concéntricos, figura 31, sino reductores excéntricos con el propósito de asegurar una fluidez continua al condensado formado a través de la línea.

**Figura 31. Reductores en líneas de vapor**



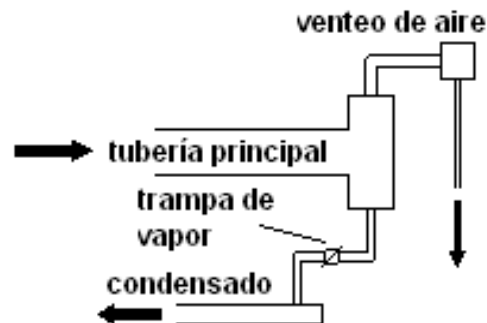
- Las líneas secundarias deberán tomarse en la parte de arriba de la tubería principal (figura 32) de manera que sea transferido el vapor lo más seco posible.

**Figura 32. Distribución de líneas de vapor secundario**



- En equipos de alto consumo de vapor en los cuales el vapor está en contacto con el producto, es conveniente instalar un separador. Este hace que las gotas arrastradas por el vapor en la tubería primaria sean separadas por medio de una serie de deflectores localizados en el separador, lo cual garantiza proveer al equipo vapor seco.
- Si las tuberías son muy largas y el proceso no es continuo es conveniente instalar venteo de aire (figura 33).

**Figura 33. Venteo de aire**



## 2.5.2 Trampeo de sistemas de distribución

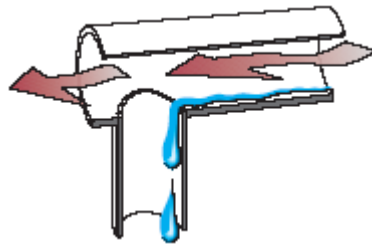
Los sistemas de distribución de vapor conectan a las calderas con el equipo que en realidad utiliza el vapor. Estos sistemas de distribución transportan el vapor hasta cualquier sitio en la planta donde se necesita su energía calorífica. Los tres componentes principales de un sistema de distribución de vapor son los cabezales, las tuberías principales, y los ramales. Cada componente cumple con ciertas funciones específicas en un sistema de vapor y junto con los separadores y las trampas contribuyen al uso eficiente del vapor.

### 2.5.2.1 Pierna colectora o pozo de goteo

Un aspecto común en todos los sistemas de distribución de vapor es la necesidad de tener piernas colectoras o pozos de goteo a ciertos intervalos en las tuberías (figura 34). Sus funciones son:

1. Dejar que el condensado sea drenado, por gravedad, del vapor fluyendo a alta velocidad.
2. Colectar el condensado hasta que la presión diferencial sea suficiente para descargarlo a través de una trampa de vapor.

**Figura 34. Pierna colectora o pozo de goteo**



Una pierna colectora del tamaño adecuado, tabla VII, puede recoger todo el condensado en la línea. En una pierna colectora demasiado pequeña se produce el efecto de venturi pequeño donde la caída de presión succiona el condensado fuera de la trampa.

**Tabla VII. Dimensiones recomendadas para piernas colectoras o pozos de goteo**

M		D		H	
Tamaño de tubería		Diámetro de pierna colectora		Longitud mínima de pierna colectora (mm)	
mm	plg	mm	plg	Pre calentamiento Supervisado	Pre calentamiento Automático
15	½	15	½	250	710
20	¾	20	¾	250	710
25	1	25	1	250	710
50	2	50	2	250	710
80	3	80	3	250	710
100	4	100	4	250	710
150	6	150	6	250	710
200	8	150	6	300	710
250	10	150	6	380	710
300	12	150	6	460	710
350	14	180	7	535	710
400	16	200	8	610	410
450	18	230	9	685	710
500	20	250	10	760	760
600	24	300	12	915	915

### 2.5.2.2 Tuberías principales

Uno de los usos más comunes para las trampas de vapor es el trampeo de las tuberías principales de vapor. Estas tuberías se deben mantener libres de aire y de condensado para poder garantizar que el equipo que utiliza el vapor estará trabajando en forma eficiente. Un trampeo inadecuado en las tuberías principales de vapor muy frecuentemente ocasiona que se tenga golpe de ariete y acumulación de condensado, lo cual puede dañar las válvulas de control y otros equipos. Existen dos métodos comunes para precalentar las tuberías principales de vapor:

1. El supervisado
2. El automático

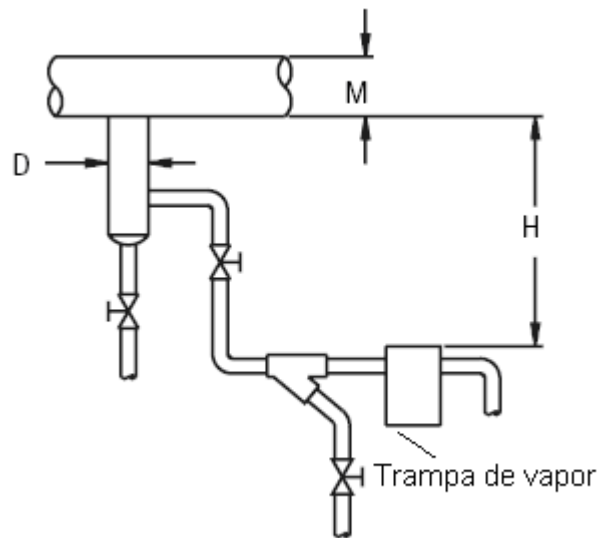
**El precalentamiento supervisado:** es bastante aceptable para el calentamiento inicial de tuberías de diámetro grande y/o de gran longitud. En este método se recomienda que antes de que el vapor fluya por la tubería principal se abran completamente las válvulas de las piernas colectoras para que el vapor escape a la atmósfera. Las válvulas de las piernas colectoras se cierran hasta que todo, o casi todo, el condensado del precalentamiento haya sido descargado. Después de esto, las trampas se encargan de remover el condensado que se puede generar en operación normal del equipo. Se sigue un procedimiento similar para el precalentamiento del sistema de tuberías principales en una planta de energía.

**El precalentamiento automático:** es cuando se enciende la caldera y se deja que las tuberías principales y algunos o todos los equipos alcancen la temperatura y presión de operación sin intervención manual o supervisión.

**Nota:** Independientemente del método de precalentamiento se debe de dar suficiente tiempo durante el ciclo de precalentamiento para minimizar los esfuerzos térmicos y prevenir posible daño al sistema.

**Instalación:** los dos métodos de precalentamiento usan piernas colectoras y trampas en ubicaciones a niveles bajos o puntos de drenado natural, tales como: antes de elevadores, al final de tuberías, antes de juntas de expansión o curvaturas, antes de válvulas o reguladores. Se deben instalar piernas colectoras y trampas, figura 35, aún cuando no se tengan puntos de drenado natural. Estos elementos se deben instalar normalmente a intervalos de 90 m, pero nunca a más de 150 m. Es buena idea el utilizar piernas colectoras o pozos de goteo del mismo diámetro que el de las tuberías, hasta tuberías de 150 mm; para tamaños mayores se utilizan de la mitad del tamaño del tubo, pero nunca un tamaño menor a 150 mm, véase tabla VII.

**Figura 35. Pierna colectora o pozo de goteo en línea principal**



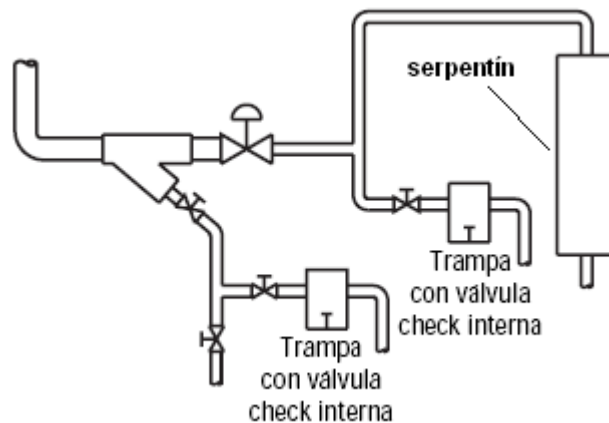


### 2.5.2.3 Ramales de tubería

Los ramales son las tuberías que salen de las tuberías principales de vapor y llevan el vapor hacia el equipo que lo utiliza (figura 36). El sistema completo debe ser diseñado y conectado de forma que se evite la acumulación de condensado en cualquier punto del sistema, como lo vimos anteriormente.

**Instalación:** para sistemas de tuberías donde la válvula de control debe estar a un nivel menor que la tubería principal. Se debe instalar un filtro del tamaño de la tubería antes de cada válvula de control, así como también antes de la válvula reguladora de presión, si es que existe una. Instalar una válvula de escape, preferiblemente con una trampa. A los pocos días de haber arrancado el sistema se debe de chequear la malla del filtro para limpiarla en caso de que sea necesario.

**Figura 36. Ramales de tubería**

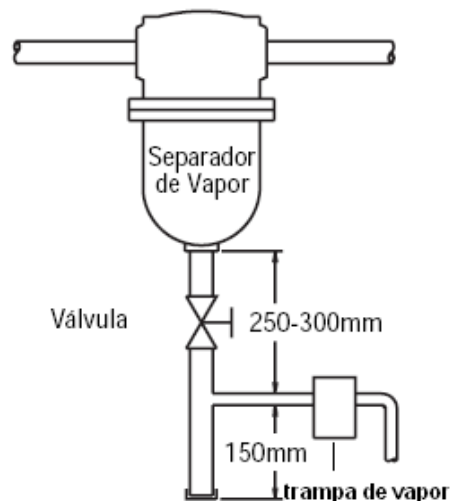


#### 2.5.2.4 Separadores

Los separadores de vapor están diseñados para remover cualquier condensado que se forme en un sistema de distribución de vapor. Los separadores son usualmente instalados antes del equipo donde es particularmente necesario que se tenga vapor seco. También son típicos en tuberías de vapor secundario debido a que por su misma naturaleza tienen un gran porcentaje de condensado que ha sido separado. Factores importantes en la selección de trampas para separadores son la habilidad de descargar acumulación de condensado, proveer buena resistencia contra impacto hidráulico, y operar con cargas ligeras.

**Instalación:** conectar las trampas a la línea de drenaje del separador a unos 250 mm o 300 mm debajo del separador. La tubería de drenado debe ser del mismo tamaño que el especificado en la conexión del separador y va hasta la salida de la trampa (figura 37). El tubo del drenaje y el colector de suciedad deben de ser del mismo tamaño que la conexión del drenaje.

**Figura 37. Separador de vapor**

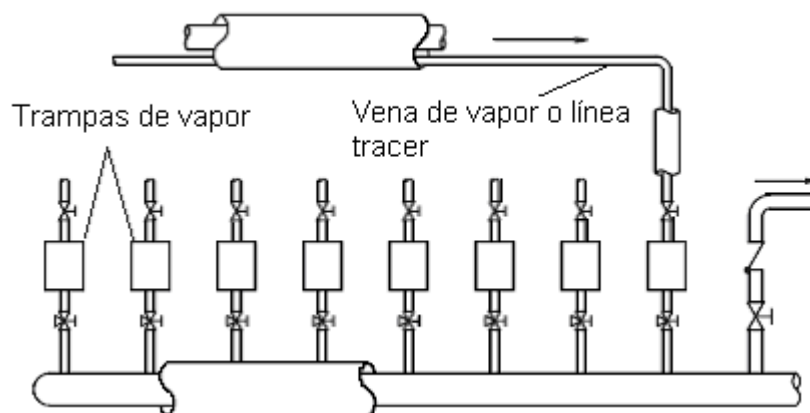


### 2.5.3 Trampeo de venas de vapor o líneas *tracer*

Las venas de vapor están diseñadas para mantener el fluido en una tubería a una temperatura uniforme. En la mayoría de los casos, las venas de vapor se usan en tuberías a la intemperie donde es importante que se tomen en cuenta las condiciones climatológicas. El objetivo principal de instalar trampas de vapor en las venas de vapor es el de poder retener el vapor en la tubería hasta que todo su calor latente sea utilizado y entonces descargar el condensado y los gases no condensables. Como en el caso con cualquier equipo de transferencia de calor, cada vena de vapor debe tener su propia trampa, figura 38, aún cuando se tengan instaladas varias venas de vapor a partir de la misma tubería principal, de esta manera se elimina la posibilidad de un cortocircuito.

**Instalación:** las tuberías de distribución o de alimentación deben ser instaladas más arriba que las tuberías del producto que requieran las venas de vapor. Asimismo, para un drenado eficiente del condensado y un buen purgado de los gases no condensables las venas de vapor deben tener una cierta inclinación para que exista drenado por gravedad y las trampas deben estar en puntos de nivel bajo.

**Figura 38. Venas de vapor o líneas *tracer***

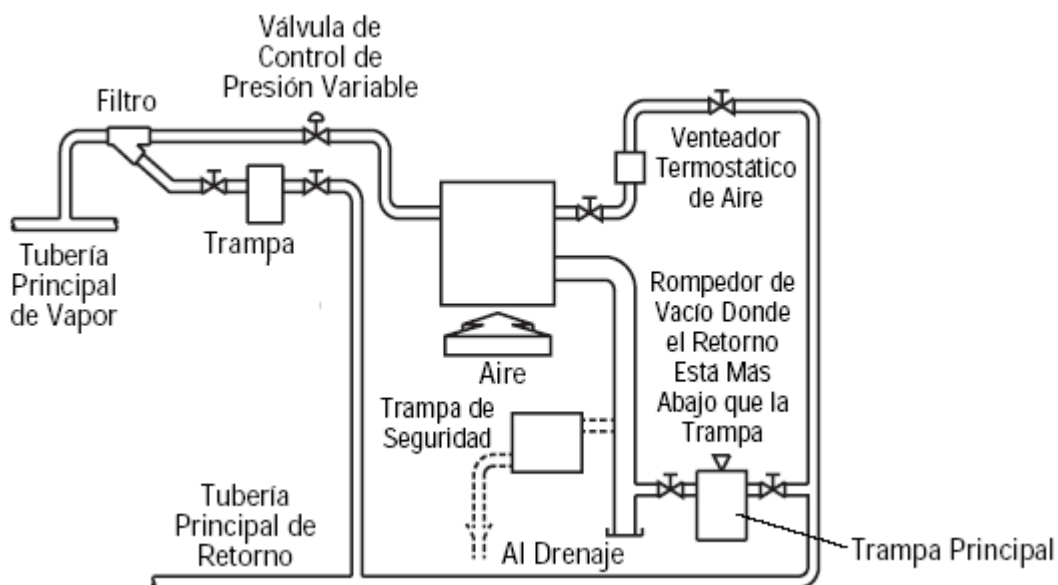


## 2.5.4 Trampeo de equipo de calefacción

Equipos de calefacción que incluye unidades de radiación, unidades de manejo de aire y serpentines son utilizados prácticamente en todas las industrias. Este tipo de equipo es bastante básico y debe requerir de muy poco servicio de mantenimiento. Por lo tanto, las trampas de vapor usualmente son olvidadas por largos períodos de tiempo. Uno de los problemas ocasionados por ese olvido es la acumulación de condensado en los serpentines del calentador, lo cual puede resultar en daño por congelamiento, por corrosión o por golpe de ariete.

**Instalación:** básicamente se deben seguir las recomendaciones de los fabricantes de los equipos correspondientes. La figura 39 representa situaciones en que todos los fabricantes de equipos de calefacción están de acuerdo.

**Figura 39. Equipo de calefacción**



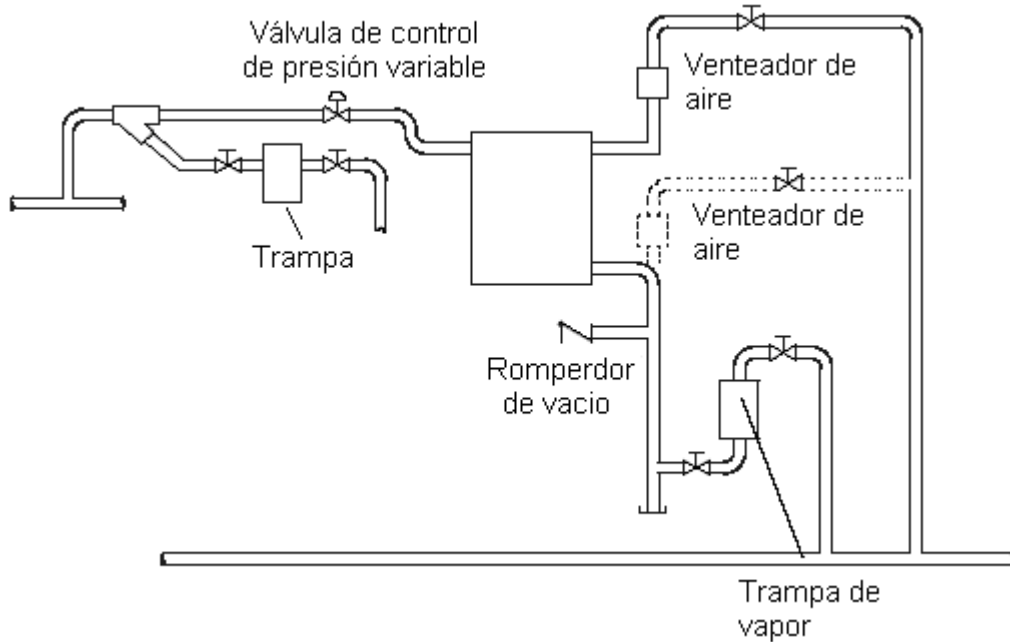
### 2.5.5 Trampeo de calentadores de aire de proceso

Los calentadores de aire de proceso son usados para el secado de papel, madera, leche, almidón y otros productos, así como para precalentar el aire de combustión en calderas. Ejemplos típicos de esta clase de equipo son secadoras de proceso, secadoras de túnel, y precalentadores de aire de combustión.

La diferencia entre los calentadores de aire de proceso y los calentadores de aire para calefacción es que los primeros operan a temperaturas bastante altas, donde 260°C no es nada raro. Estas aplicaciones a temperaturas extremadamente altas requieren de vapor a altas presiones y en algunos casos de vapor sobrecalentado.

**Instalación:** debido a las grandes variaciones de temperatura se debe proveer suficiente espacio para la expansión térmica del sistema de tuberías en el equipo calentador de aire de proceso y en todas las conexiones a la trampa (figura 40). Las trampas deben ir instaladas 250 - 300 mm más abajo que el serpentín, y con colectores de suciedad de al menos 150 mm. Para ambos casos, de presión constante y variable, se debe instalar un rompedor de vacío entre el serpentín y la trampa de vapor. Es necesario instalar un venteador de aire en cada serpentín para remover el aire y los gases no condensables, ya que pueden producir corrosión de forma inmediata.

**Figura 40. Calentador de aire de proceso**



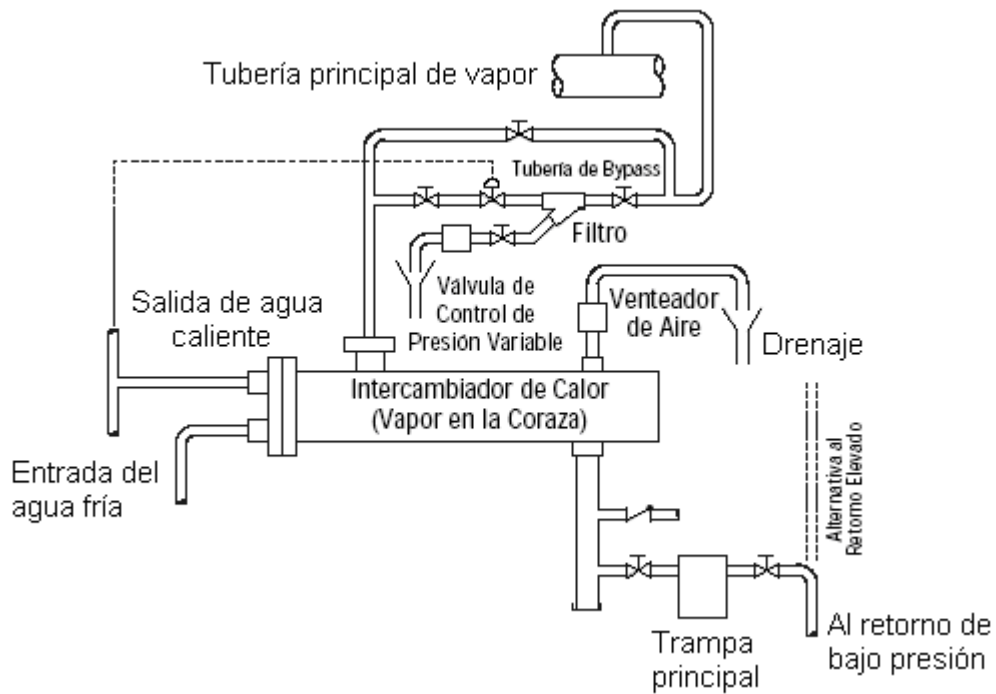
### **2.5.6 Trampeo de intercambiadores de calor de tubos y coraza y serpentines sumergidos**

Serpentines sumergidos son elementos para transferencia de calor que se sumergen en el líquido que se va a calentar, evaporar o concentrar. Este tipo de serpentín se puede encontrar en cualquier fábrica o institución que utiliza vapor. Ejemplos típicos son calentadores de agua, hervidores, calentadores de succión, evaporadores y vaporizadores. Estos equipos son usados para calentar agua para el proceso o para uso doméstico, vaporizar gases industriales como propano y oxígeno, concentrar fluidos en proceso como azúcar, petróleo, licores, y combustible para calefacción para su fácil transportación y atomización. Los diferentes requerimientos de cada aplicación, ya sea a presión de vapor constante o variable, determinan que tipo de trampa debe de especificarse.

Factores que deben considerarse en la selección incluyen la capacidad para lidiar con aire a presiones diferenciales bajas para conservar energía y para remover basuras y bloques de condensado acumulado.

Un tipo de serpentín sumergido es el intercambiador de calor de tubos y coraza, figura 41. En estos intercambiadores se instalan varios tubos dentro de una cámara o coraza con un área libre reducida. Esto básicamente asegura que siempre exista contacto entre los tubos y el fluido viajando en la coraza. Aún cuando el término sumergido implica que el vapor fluye en los tubos y que los tubos están sumergidos en el fluido siendo calentado, lo opuesto puede también ser implementado con el vapor en la coraza y el líquido en los tubos.

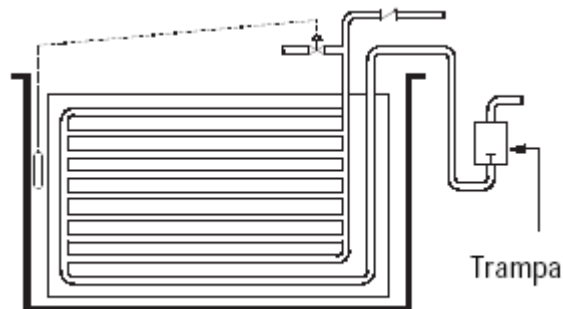
**Figura 41. Intercambiador de calor de tubos y coraza**



### 2.5.6.1 Serpentes estampados

Es común que tanques abiertos con agua o con químicos sean calentados mediante serpentines estampados o en relieve (figura 42). Ranuras estampadas en una placa de metal forman una mitad de los espacios para el vapor. Al soldar las dos mitades se crean los conductos para el vapor, donde se produce la transferencia de calor y donde se evacua el condensado.

**Figura 42. Serpentin estampado**

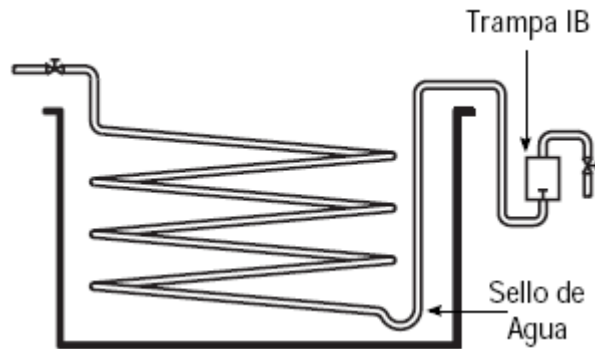


### 2.5.6.2 Serpentes tubulares

Serpentes tubulares son tubos para transferencia de calor que se sumergen en tanques que son bastante grandes en comparación al tamaño del serpentín (figura 43). Ésta es la principal diferencia con los intercambiadores de calor de tubos y coraza. Al igual que los serpentines estampados, los tubulares pueden ser drenados por gravedad o por sifón dependiendo de las condiciones que existan en donde sean instalados. A diferencia de los serpentines estampados, la mayoría de los serpentines tubulares se instalan en recipientes cerrados.



**Figura 43. Serpentin tubular**



**Instalación:** cuando se tienen intercambiadores de calor de tubos y coraza, serpentines estampados o serpentines tubulares que utilizan drenaje por gravedad se debe ubicar la trampa de vapor a un nivel más bajo que el elemento calentador. Se debe utilizar un rompedor de vacío al tenerse presión variable, éste puede ser integrado en las trampas o instalado fuera de la tubería de entrada. Se debe tener una pierna colectora o pozo de goteo antes de la trampa para que actúe como tanque acumulador lo cual garantiza que se tenga drenado de condensado cuando la trampa está operando a la máxima capacidad y se tiene una presión diferencial mínima. No se debe elevar el condensado cuando se tiene control variable en intercambiadores de calor de tubos y coraza, serpentines estampados o serpentines tubulares. Sin embargo, si es necesario elevar el condensado se sugiere lo siguiente:

1. No se debe elevar el condensado más de 0.3 m por cada 0.07 bar de presión diferencial normal, ya sea antes o después de la trampa.
2. Si la elevación del condensado ocurre después de la trampa de vapor, instar un drenaje de seguridad de baja presión.

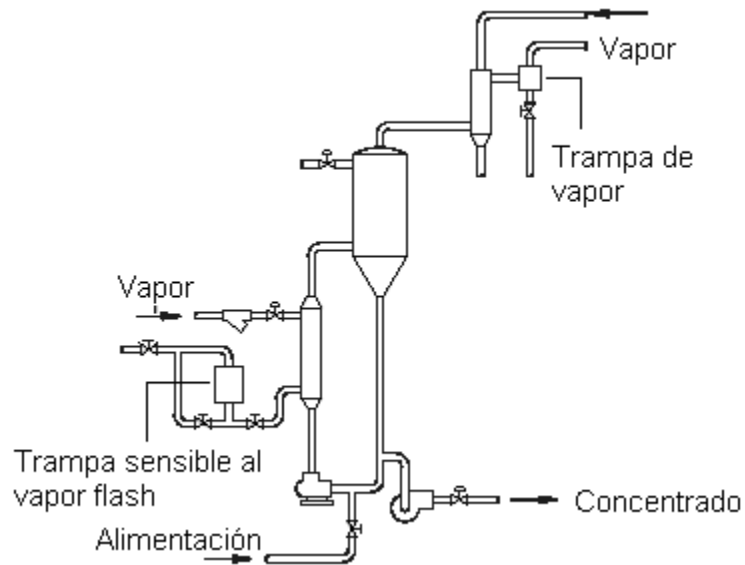
## **2.5.7 Trampeo de evaporadores**

Los evaporadores reducen el contenido de agua de un producto mediante el uso de calor. Los evaporadores son muy comunes en varias industrias, especialmente en las fábricas de papel, alimentos, textiles, química y del acero. Un evaporador puede ser un intercambiador de calor de tubos y coraza donde el vapor está normalmente en la coraza y los productos fluyen en los tubos. Dependiendo del tipo de producto y de los resultados deseados, puede que se requiera más de un paso o proceso de evaporación. El de tres pasos o efectos es el más común aunque en algunas aplicaciones se pueden encontrar tantos como cinco o seis pasos.

### **2.5.7.1 Evaporadores de un paso**

Mientras se obliga al producto a pasar a través de los tubos del evaporador se le añade calor para remover una cantidad específica de humedad. Una vez que esto se completa, tanto lo evaporado como el concentrado del producto se pasan a una cámara de separación donde el vapor en el producto es liberado y posiblemente usado en algún otro equipo. El concentrado es bombeado a la siguiente estación en el proceso (figura 44).

**Figura 44. Sistema de evaporador de un paso**



### **2.5.7.2 Evaporadores de múltiples pasos**

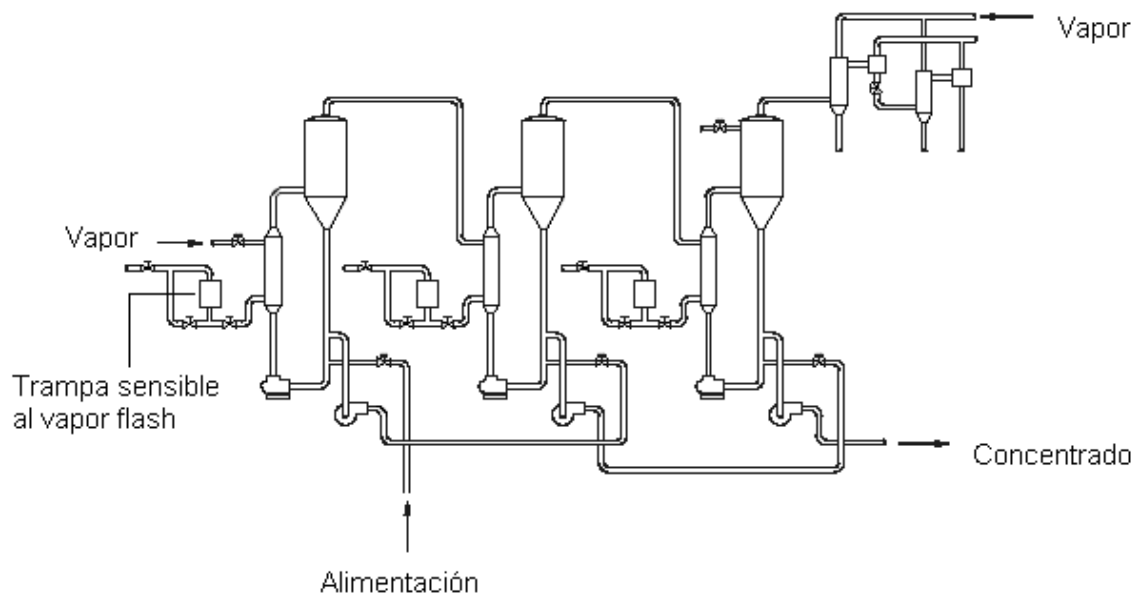
Cuando se usa el método de pasos múltiples hay un ahorro de energía ya que el vapor de la caldera se usa en la primera etapa, el vapor generado en el producto es usado como fuente de calor en la segunda etapa y el calor generado en la segunda etapa es usado en la tercera etapa. Así sucesivamente hasta que el vapor generado en la última etapa se usa para calentar agua para alguna aplicación en el proceso o para precalentar algún suministro de materia prima, figura 45.

Debido a su amplia gama de aplicaciones en una variedad de procesos hay muchas variables en el diseño de evaporadores. La capacidad de evaporación de estos equipos puede variar desde aproximadamente 500 kg/hr hasta 50,000 kg/hr, mientras que las presiones del vapor varían desde una alta de 10 bar en las primeras etapas hasta una baja de 60 cm de mercurio en la última etapa.

Debido a que los evaporadores son normalmente operados continuamente, hay una carga constante de condensado que se tiene que manejar. Es importante recordar que las trampas deben ser seleccionadas basándose en la presión diferencial real de cada etapa. Los tres factores más importantes cuando se trampean evaporadores son:

1. Cargas grandes de condensado.
2. Presión diferencial baja en algunos pasos.
3. Evacuación del aire y de contaminantes.

**Figura 45. Sistema de evaporador de múltiples pasos**



**Instalación:** dado que un evaporador es básicamente un intercambiador de calor de tubos y coraza, con el vapor en la coraza, se deben tener venteadores de aire independientes en el intercambiador. Los venteadores se deben instalar en el punto donde se espera que el aire se acumule, como por ejemplo en las zonas muertas de la coraza. Se debe instalar una trampa independiente en cada paso o etapa.

El condensado de la primera etapa se puede regresar a la caldera, pero no se recomienda que los condensados de las etapas sucesivas se regresen a la caldera debido a la contaminación que han sufrido del producto.

### **2.5.8 Trampeo de marmitas**

Las marmitas se pueden encontrar en cualquier parte del mundo y en casi cualquier tipo de aplicación: empacadoras de carne, fábricas de papel, ingenios, máquinas de derretido, procesadoras de frutas y vegetales, preparación de alimentos, etc.

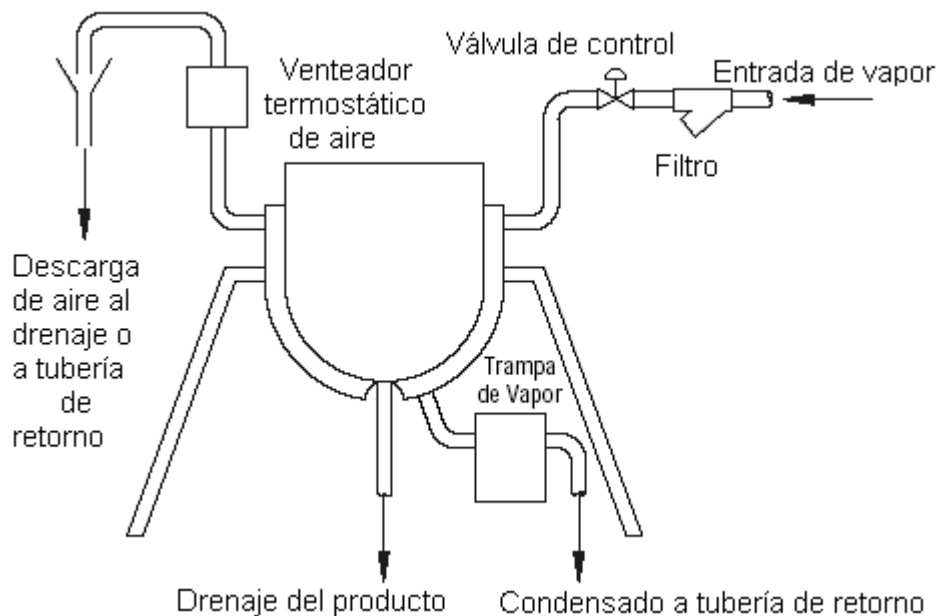
Existen básicamente dos tipos de ollas con camisas de vapor: con drenaje fijo por gravedad, con drenaje inclinado por sifón. Cada tipo requiere de una forma especial para el trampeo del vapor, aunque los problemas principales son los mismos para ambos tipos. El problema más grande de las ollas encamisadas es el aire encerrado dentro de las camisas de vapor, el cual tiene un efecto negativo en la temperatura del sistema. Marmitas son usualmente utilizadas en operaciones por lotes o cargas donde el mantener una temperatura uniforme o de cocido es crítico. Cuando se tiene demasiado aire en el sistema la temperatura varía en un rango bastante amplio y puede resultar en que parte del producto acaba sobre cocido o quemado, y en general el proceso se hace más lento. Específicamente, bajo ciertas condiciones con tan sólo un contenido de volumen bastante bajo de aire en el vapor es suficiente para formar una capa aisladora en las superficies de transferencia de calor, lo cual reduce la eficiencia de la transferencia.

Un segundo problema al usar ollas con camisas de vapor es la necesidad de remover el condensado en forma total y uniforme. Cualquier acumulación de condensado en las camisas resulta en un control de temperatura inestable, una menor capacidad de operación de la olla y el riesgo de tener golpe de ariete.

**Instalación:** las trampas se deben colocar cerca de las ollas. Para obtener mejor capacidad de venteo y operación más confiable se recomienda instalar un ventilador de aire termostático en los niveles más altos de las camisas, figura 46. Nunca se deben drenar dos o más ollas en una sola trampa.

Trampeo en grupo resultará, sin lugar a dudas, en cortocircuito del sistema de drenado.

Figura 46. Olla con camisa o marmita



### 2.5.9 Trampeo de equipo con cámaras de vapor cerradas y estacionarias

El equipo con cámaras de vapor cerradas y estacionarias incluye planchas de placa para la fabricación de maderas compuestas y otros productos laminados, moldes con camisas de vapor para componentes de hule o plástico, hornos autoclave para curar y esterilizar, retortas para cocido.

Productos moldeados de hule y de plástico, tales como estuches de baterías, juguetes, conexiones y llantas son formados y curados en equipo de este tipo. Así como maderas laminadas que son comprimidas, pegadas y curadas, *plywood*. Máquinas de planchado de superficies planas en las lavanderías son una forma especializada de prensar con una cámara de vapor en un sólo lado del producto.

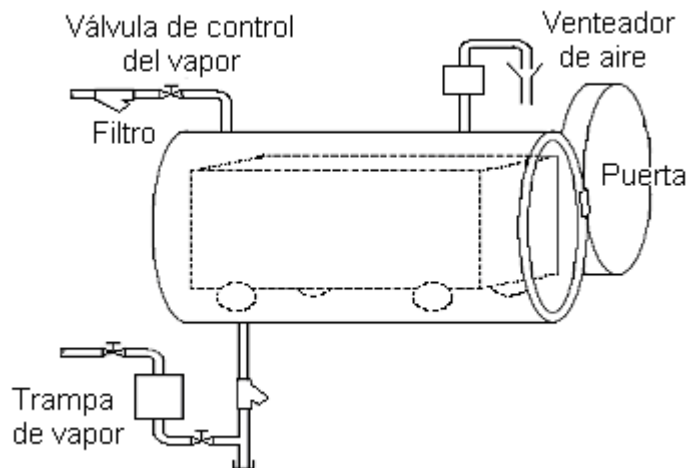
### **2.5.9.1 Inyección directa de vapor en la cámara**

Este tipo de equipo combina vapor con el producto con el propósito de curarlo, esterilizarlo o cocerlo. Ejemplos típicos son los hornos de autoclave usados en la fabricación de productos de hule o plástico, esterilizadores de ropas y de instrumento de cirugía y retortas para cocimiento de alimentos y productos enlatados. Se debe esperar condensado con impurezas dado que el vapor está en contacto con el producto. Además, el tanque es una cámara de gran volumen que requiere de un sistema especial para purgado de condensados y de gases no condensables (figura 47). Basándose en estas razones, se recomienda una trampa que pueda trabajar bajo estas condiciones de condensado; también es recomendado instalar un venteador termostático adicional en el nivel más alto de la cámara.

**Instalación:** debido a que se tiene el vapor y el producto en contacto dentro de las cámaras, la descarga de la trampa casi nunca puede ser regresada a la caldera sino que debe ser enviada fuera del proceso.

En casi todos los casos este tipo de equipo es drenado por gravedad hacia la trampa. Sin embargo, casi siempre se eleva el condensado después de la trampa, lo cual no representa un problema en la operación debido a que la presión del vapor es usualmente constante. Para tener un precalentamiento rápido y una descarga completa del aire se recomienda la instalación de un ventilador termostático en el punto más alto del tanque.

**Figura 47. Inyección directa del vapor a la cámara del producto**



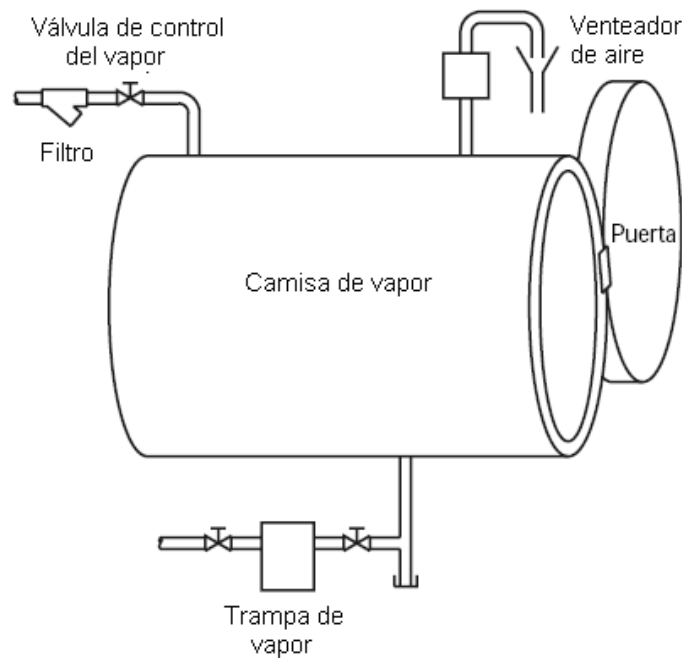
### 2.5.9.2 Producto en cámara y vapor en camisas

Hornos de autoclave, retortas y esterilizadoras son los equipos típicos con esta clase de configuración. En estos casos el condensado no está contaminado debido a que no hay contacto con los productos y por lo tanto se puede regresar directamente a la caldera. Trampas de vapor con capacidad de purgado y de venteo de grandes volúmenes de aire son necesarias para tener una operación eficiente.



**Instalación:** en este tipo de equipo producto en cámara-vapor en camisa no se tiene contacto entre el vapor o el condensado y el producto, por lo cual se pueden descargar en la tubería de retorno del sistema. Cuando sea posible se debe instalar un venteador termostático en una localidad remota a un nivel alto en la cámara de vapor, figura 48.

**Figura 48. Producto en cámara y vapor en camisas**



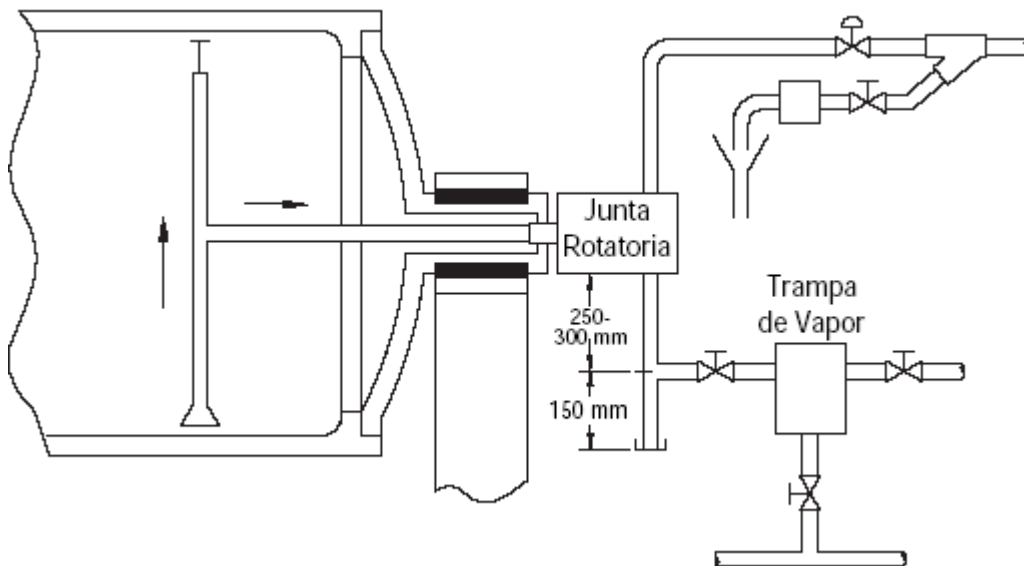
### 2.5.10 Trampeo de secadoras rotatorias con drenaje por sifón

Existen dos tipos de secadoras rotatorias que varían de forma significativa en cuanto al método de funcionamiento y clases de aplicaciones. El primer sistema seca el producto al ponerlo en contacto con la superficie exterior de un cilindro lleno de vapor. El segundo sistema tiene el producto dentro de un cilindro rotatorio donde tubos con vapor secan el producto al entrar en contacto directo con el producto. En algunos casos también se usa una camisa de vapor alrededor del cilindro.

### 2.5.10.1 Secadora con producto por afuera

Este tipo de secadora, figura 49, es utilizada extensamente en las industrias del papel, textil, plástico y alimenticias donde ejemplos típicos de equipo son los cilindros de secado, secadora de tambor, planchadoras de tintorería y secadoras de papel. Su velocidad de operación varía desde 1 ó 2 rpm hasta velocidades de 5,000 rpm. Presiones de operación del vapor varían desde presiones abajo de la atmosférica hasta más de 14 bar. Los diámetros de los cilindros pueden variar desde 150 ó 200 mm hasta 4 m o más. En todos los casos se requiere drenaje por sifón y se tendrá vapor *flash* junto con el condensado.

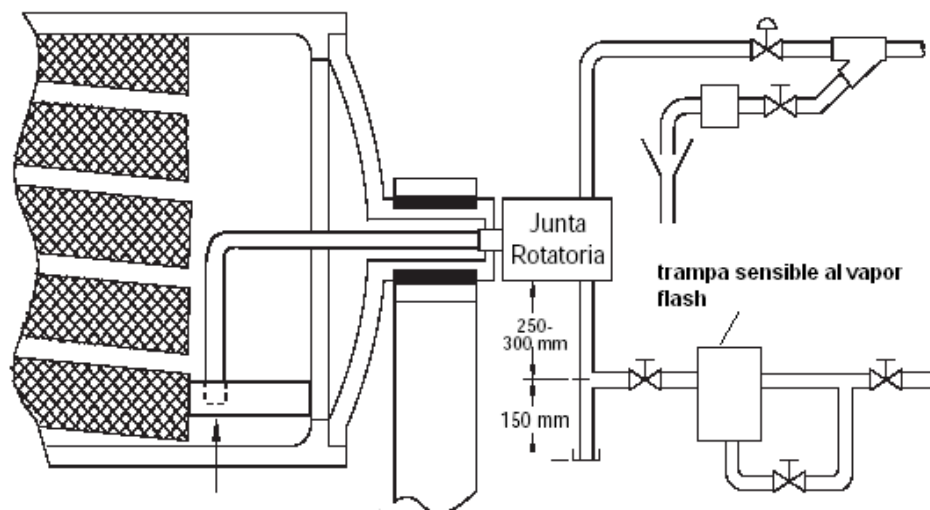
**Figura 49. Secadora con producto por afuera**



### 2.5.10.2 Secadora calentada por vapor con producto por dentro

Este tipo de secadora, figura 50, tiene un amplio rango de aplicaciones en la industria de empacado de carne, así como en la industria del procesamiento de alimentos. Ejemplos comunes son las secadoras de granos, cocedoras rotatorias y acondicionadores de alimentos. La velocidad de rotación de estos equipos es relativamente baja, típicamente en el rango de unas cuantas rpm, mientras que la presión del vapor está en el rango de cero a 10 bar. Estas velocidades de rotación bajas permiten que en casi todos los casos se acumule el condensado en el fondo de la cámara colectora. Nuevamente, drenaje por sifón es necesario y vapor *flash* se genera durante el drenado del condensado.

**Figura 50. Secadora con producto por dentro**



**Instalación:** en todos los casos el drenado del condensado se lleva a cabo a través de una junta rotatoria. La trampa sensible al vapor *flash* debe ser instalada de 250 - 300 mm por debajo de la junta rotatoria con un colector de suciedad de 150 mm. Este colector provee un lugar para depositar el condensado excesivo y para recoger cierta cantidad de sarro y suciedad del sistema.

### 2.5.11 Trampeo de tanques de *flasheo*

Cuando se tiene condensado caliente o agua de la caldera que están a una presión dada y se vacían a una presión menor, una parte del líquido se evapora nuevamente formando lo que se llama vapor *flash*. El contenido de calor del vapor *flash* es idéntico al del vapor vivo a la misma presión. Muchas veces este calor del vapor *flash* es desperdiciado si se deja escapar a través del venteador del equipo receptor.

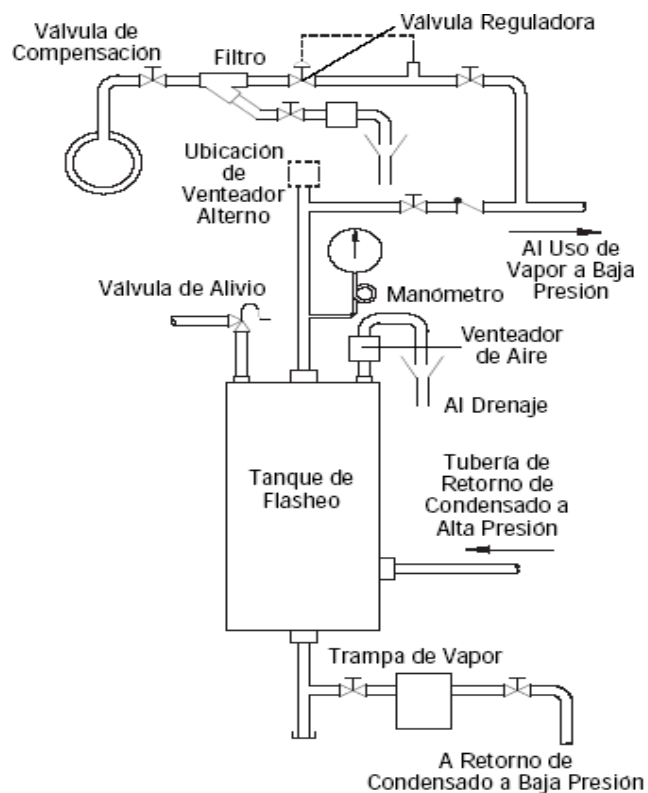
Si se diseña e instala un sistema adecuado de recuperación de vapor *flash*, el calor latente contenido en ese vapor puede recuperarse y ser utilizado en sistemas de calefacción, de calentamiento y precalentamiento de agua, aceite y otros líquidos de calentamiento en procesos a baja presión. Si se tiene vapor de escape se puede combinar con el vapor *flash*.

En otras situaciones al vapor *flash* se le tiene que añadir vapor vivo a baja presión para completar lo requerido. La cantidad de vapor *flash* generada realmente varía de acuerdo a las condiciones de presión. Al haber mayor diferencia de presiones entre la presión inicial del vapor y su presión de descarga se tiene mayor generación de vapor *flash*.

**Instalación:** tuberías de retorno de condensado contienen tanto condensado como vapor *flash*. Para recuperar el vapor *flash*, el cabezal de retorno llega a un tanque de *flasheo* donde se drena el condensado y el vapor es mandado hacia los puntos en que puede ser utilizado (figura 51).

Debido a que un tanque de *flasheo* produce contrapresión en las trampas de vapor que descargan en el tanque, esas trampas deben de seleccionarse de manera que se garantice un funcionamiento correcto en la presencia de contrapresión y que sean capaces de lidiar con las cargas de condensado que se producen a las diferentes presiones diferenciales que ocurran. Las tuberías de condensado deben tener cierta inclinación para que descarguen en el tanque de *flasheo*. Y cuando se tengan varias tuberías de condensado alimentando el tanque, se debe instalar una válvula *check* en cada una de ellas. De esta forma, cuando alguna de las líneas no esté en operación se evitará que exista contraflujo que resulte en desperdicio del vapor *flash*. En general la ubicación del tanque de *flasheo* se debe designar basándose en los requerimientos de que se tenga la máxima formación posible de vapor *flash* y la mínima longitud de tuberías.

**Figura 51. Diagrama típico de las tuberías en un tanque de *flasheo***



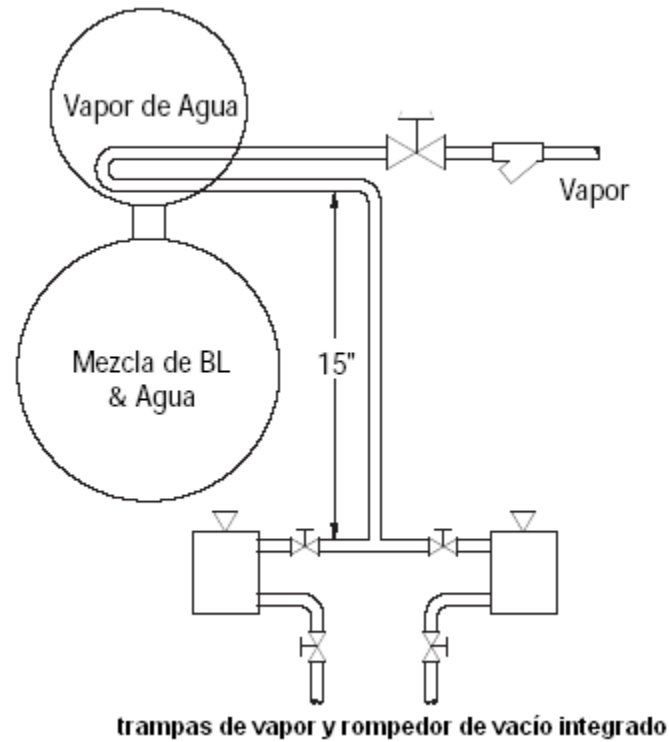
### 2.5.12 Trampeo de máquinas de absorción

Una máquina de refrigeración por absorción enfría agua mediante la evaporación de una solución de agua, típicamente bromuro de litio. El agua fría se usa en aire acondicionado o en partes de un proceso. El vapor provee la energía para la parte de la concentración en el ciclo de enfriamiento; fuera de las bombas eléctricas no se necesita ninguna otra fuente de energía durante todo el ciclo.

La trampa de vapor que se instale en una máquina de absorción debe tener la habilidad de manejar grandes cantidades de condensado y de purgar aire a baja presión en situaciones de presión variable.

**Instalación:** la trampa de vapor debe ubicarse a un nivel más bajo que el serpentín del vapor en la máquina de absorción y con una pierna colectora o pozo de goteo de al menos 400 mm (figura 52). Con esto se asegura una presión diferencial en la trampa de al menos 0.04 bar. Independientemente de las trampas que se usen, se recomienda un sistema de trampeo de respaldo en este tipo de servicio. Así, cuando se tengan problemas o se le esté dando mantenimiento a uno de los sistemas de drenado se puede operar el equipo con el sistema de drenado de respaldo, lo cual asegura servicio continuo y sin interrupciones. En los casos en que se tienen cargas de condensado bastante altas se sugiere que se usen dos trampas operando en paralelo, para así poder drenar normalmente esa carga.

**Figura 52. Máquina de absorción**



## **2.6 Ventajas obtenidas con la correcta selección e instalación de trampas**

En los sistemas de vapor encontrados en la industria podemos identificar infinidad de problemas ocasionados por una inadecuada instalación, algunos de estos problemas se deben a selecciones e instalaciones erróneas de las trampas de vapor. Varios problemas encontrados comúnmente se corrigen con una adecuada selección e instalación de trampas. Además, se logran obtener grandes beneficios.

### **2.6.1 Disminución del golpe de ariete y de erosión en accesorios y tubería**

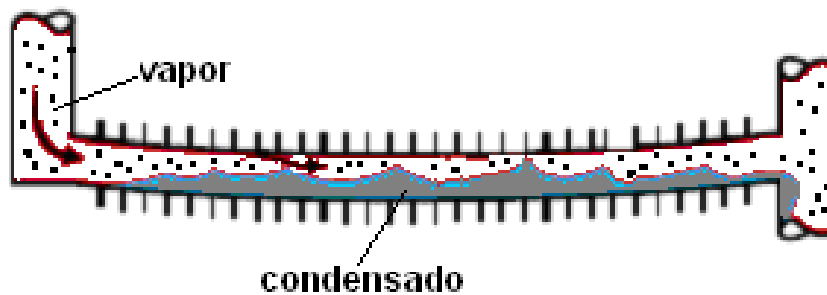
Una vez que el vapor se condensa al haber soltado todo su valioso calor latente, el condensado caliente se debe de remover inmediatamente. El condensado que se acumula en las líneas de vapor puede ser la causa de cierto tipo de golpe de ariete. Cuando el vapor viaja a velocidades de hasta 160 km/hr tiende a producir olas al pasar sobre el condensado, figura 53.

Si se ha acumulado demasiado condensado entonces el vapor a alta velocidad lo estará empujando, lo cual produce un tapón de agua que crece y crece al empujar el líquido delante de él. Cualquier componente que trate de cambiar la dirección del flujo, tal como, conexión, válvula reguladora, codo, brida, etc., puede ser destruido. Asimismo, aparte del daño producido por este golpeteo hidráulico, el agua a alta velocidad puede causar erosión significativa en las conexiones y tuberías con superficies metálicas.

Todos los problemas mencionados anteriormente se eliminan con una selección correcta de la trampa. Esta trampa debe tener la capacidad de drenar la cantidad de condensado formado en la tubería, además, cuando se realiza una correcta instalación se garantiza el funcionamiento eficiente de la trampa de vapor.



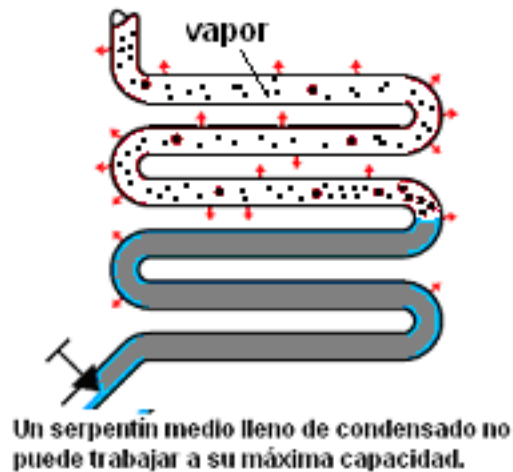
**Figura 53. Formación de olas de condensado en la tubería**



### **2.6.2 Eliminación de la posibilidad de un choque térmico y mayor aprovechamiento de calor latente del vapor**

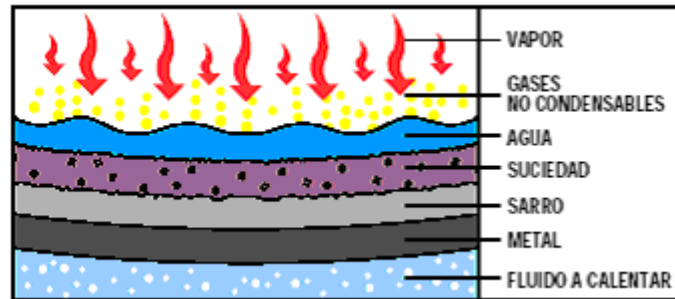
Cuando el vapor se encuentra con condensado que ha sido enfriado a una temperatura menor que la del vapor se puede producir otro tipo de golpe de ariete que se conoce como choque térmico. El vapor ocupa un volumen mucho mayor que el condensado, así que cuando el vapor se condensa de forma repentina se generan ondas de choque que viajan por todo el sistema. Esta forma de golpe de ariete puede dañar el equipo y básicamente indica que el condensado no está siendo drenado adecuadamente en el sistema. Al mismo tiempo el condensado ocupa espacio dentro de la unidad de transferencia de calor lo cual reduce el tamaño físico y la capacidad de la unidad (figura 54). Si el condensado se remueve rápidamente entonces la unidad estará llena de vapor .

**Figura 54. Deficiencia de dispositivos con condensado**



Al condensarse el vapor se forma una capa de agua dentro de las superficies del intercambiador de calor. Además, los gases incondensables no se convierten en líquidos ni fluyen hacia afuera por gravedad, sino que se acumulan dentro de la unidad y también forman una capa delgada en las superficies del intercambiador de calor junto con la suciedad y el sarro. Todos estos elementos son impedimentos para una transferencia de calor adecuada (figura 55). Cuando se selecciona e instala una trampa de forma adecuada se purga el condensado de la tubería y de intercambiadores de calor, también se logra un venteo de los gases incondensables para obtener mayor aprovechamiento de la energía del vapor.

**Figura 55. Reductores en la transferencia de calor**



### **2.6.3 Aumento de la transferencia de calor**

El aire siempre está presente durante el arranque del equipo y en el agua de alimentación de la caldera. Además, el agua de alimentación puede tener disueltos ciertos carbonatos que liberan bióxido de carbono. La velocidad a que fluye el vapor empuja estos gases hacia las paredes de los intercambiadores de calor lo que puede resultar en el bloqueo del flujo del calor. Esto empeora el problema del drenado dado que estos gases deben ser removidos del sistema junto con el condensado.

La presencia de aire en el sistema también afecta el consumo energético del mismo. Supongamos que un sistema usa vapor a 100 psia o 0.69 Mpa; sin embargo, este vapor tiene un 10% de aire.

De acuerdo a la termodinámica:

$$P_{\text{Total}} = \Sigma P_{\text{parc.}}$$

$$P_{\text{Total}} = 100 \text{ psia (0.69 Mpa)}$$

$$P_{\text{vap}} = 90 \text{ psia (0.62 Mpa)}$$

$$P_{\text{aire}} = 10 \text{ psia (0.07)}$$

De acuerdo a las tablas de vapor,  $P = 90$  psia (0.62 Mpa) y la temperatura de saturación es  $320$  °F ( $160$  °C); en cambio si el aire fuera eliminado la  $P_{\text{vap}}$  sería  $100$  psia (0.69 Mpa) y su temperatura sería  $328$  °F ( $164$  °C). Además, debe considerarse que el aire es un excelente aislante.

La selección correcta y la instalación adecuada de las trampas permite eliminar el  $O_2$  y  $CO_2$ ; estos gases en particular tienen efectos adversos tales como la corrosión en las líneas del condensado. El oxígeno en las líneas del condensado produce grietas en la parte inferior y produce óxido el cual puede contaminar el agua de retorno. El  $CO_2$  disuelto en agua forma ácido carbónico que es altamente corrosivo.

#### **2.6.4 Eliminación de problemas de suciedad**

Cuando se ha realizado una correcta selección e instalación de una trampa de vapor se garantiza la eliminación o disminución de los problemas de suciedad. En la mayoría de industrias se trabaja con un condensado que arrastra alguna suciedad debido a las características del proceso, por esta razón cuando no se tiene una trampa que trabaje con suciedad, el sistema de vapor puede abnegarse de condensado cuando se obstruyan los accesorios que en él trabajan perdiendo de esta manera grandes cantidades de dinero y energía al disminuir la transferencia de calor.

## **2.7 Ventajas obtenidas con la utilización de *software* para trampas**

Esta es una innovación con muchas características que harán las selecciones eficientes y fáciles. Además, las distintas empresas y modelos nos presentan elegancia y sencillez para facilitar de esta manera las selecciones que realicemos.

Utilizando esta herramienta eliminamos en gran medida el error humano que en muchas ocasiones es causante de una incorrecta selección de trampa y posterior falla en nuestro sistema de vapor.

Otra de las ventajas que nos presenta la utilización de un *software* es la oportunidad de poder seleccionar las trampas de vapor aún sin contar con la experiencia en este tipo de actividades, pues, podemos trabajar con los datos de operación de la trampa o con la aplicación que esta trampa estará destinada a realizar.



## **3. OPORTUNIDAD DE CONSERVACIÓN DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE VAPOR**

### **3.1 Esquema resumido sobre los aspectos que incrementan la eficiencia en sistemas de vapor**

La eficiencia de un sistema de vapor se puede mejorar si son atendidos cuidadosamente tres puntos:

1. Generación de vapor
2. Distribución de vapor
3. Consumo de vapor

#### **3.1.1 Generación de vapor**

Básicamente la eficiencia de un sistema de vapor se mejorará aplicando las siguientes medidas:

- Recuperación de condensado y aislamiento térmico de la línea de retorno.
- Precalentamiento del agua fresca de alimentación de la caldera con calor residual, condensado con valor energético.
- Tratamiento químico del agua de alimentación a la caldera.
- Regulación y control de flujos de purga de lodos de la caldera y de condensados en tuberías y equipos del sistema.
- Reducción del exceso de aire.
- Precalentamiento del aire de combustión para la caldera con calor residual.

- Precalentamiento y atomización adecuada del combustible de la caldera.
- Aislamiento térmico del cuerpo de la caldera.
- Ajuste del quemador.
- Ajuste de los controles automáticos de la caldera.
- Regulación de la carga de la caldera.

### **3.1.2 Distribución de vapor**

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

- En instalaciones nuevas, diseñar la red de distribución, eligiendo los diámetros adecuados de tubería, determinando la localización y dimensiones apropiadas de los accesorios de tuberías.
- Aislar térmicamente las tuberías de vapor y los accesorios de tubería.
- Evitar fugas de vapor.
- Utilización de nuevas tecnologías de trampas de vapor que ofrecen pérdidas mínimas de vapor vivo.
- Instalación de trampas de vapor de acuerdo a su funcionamiento y en localidades para las cuales fueron seleccionadas.
- Realizar *survey* o pruebas periódicas al sistema de trampeo para obtener un control del buen funcionamiento del mismo.

### **3.1.3 Consumo de vapor**

Cada unidad de proceso deberá operar con eficiencia, siendo necesario revisar fundamentalmente los siguientes aspectos:

- Diseño adecuado del equipo.
- Uso de presiones y temperaturas de vapor adecuadas.



- Aislamiento térmico de áreas del equipo en donde existan considerables pérdidas de calor por radiación y convección.
- Reutilización del calor residual de flujos de gases de escape, a altas temperaturas, para precalentar aire y/o productos de proceso.
- Especificación de dimensionamiento y ubicación adecuada de las trampas de vapor.

La supervisión continua de los aspectos mencionados en estos tres puntos, así como su soporte mediante un programa riguroso de mantenimiento preventivo, hará posible que las plantas industriales reduzcan considerablemente sus costos, permitiéndoles mantenerse en la dinámica competencia económica.

### **3.2 Ahorro de energía en sistemas de condensado**

Se presenta en esta sección un resumen de las oportunidades de ahorro de energía en sistemas de condensado. Todas se han discutido ya de una manera u otra, pero vale la pena enfatizarlas.

#### **3.2.1 Retorno del condensado**

El vapor que se condensa tiene dos cualidades importantes y de interés desde el punto de vista de eficiencia. Primero, como ya se ha mencionado anteriormente, contiene calor en una cantidad que puede ser importante comparada con el calor total del vapor. Segundo, el condensado es agua limpia y ya tratada, sin sólidos disueltos con excepción de los que arrastra en su flujo a través de la tubería.

El retorno de condensado entonces implica tres ahorros:

1. Ahorro en combustible debido a su calor sensible.
2. Ahorro en químicos de tratamiento del agua que entra a la caldera.
3. Ahorro en combustible debido a la reducción de la purga necesaria para mantener un nivel adecuado de sólidos disueltos en la caldera.

### **3.2.2 Aislar sistemas de condensado**

El aislamiento no sólo de la tubería, también de los tanques, de las válvulas, codos y otros puntos del sistema es importante para poder aprovechar al máximo el calor del sistema.

### **3.2.3 Cerrar el sistema de condensado**

Para ahorrar y recuperar el vapor perdido por vaporización y venteo del tanque de condensado, debería de considerarse la posibilidad de retornar el condensado bajo presión. Esto se aplica a sistemas medianos y grandes. Puntos importantes para recordar son el uso de bombas de vapor, y el uso del vapor de *flasheo* para procesos de precalentamiento.

### **3.2.4 Precalentar agua con condensado**

En sistemas pequeños y medianos donde posiblemente no valga la pena una inversión para nuevo equipo, y donde una parte del condensado no se retorna pero se reemplaza con agua fresca, se puede considerar una medida sencilla como la descrita en la figura 51. El agua fresca que necesita la caldera se puede alimentar directamente al tanque de condensado, manteniendo así la temperatura del condensado menor a la del punto de saturación.

El condensado y vapor *flash* entran abajo del tanque y se enfrían al pasar la masa de condensado subenfriado. Así se evita el sobrecalentamiento del tanque de condensado y la consecuente pérdida de vapor *flash* a través del venteo del tanque. El calor del condensado se aprovecha para precalentar agua fresca. Este sistema es eficiente sólo si se necesita alimentar la caldera con un porcentaje de agua fresca.

### **3.2.5 Reducir la presión de vapor en proceso**

La reducción de la presión de vapor en el proceso es otra manera de atacar el problema de pérdida de vapor *flash* del condensado. Menor presión en el proceso provoca menor vaporización en el sistema de condensado. Al mismo tiempo, el mayor calor latente a presiones más bajas, ver tablas de vapor, asegura que el calor ahorrado en la vaporización instantánea se aprovecha en el proceso.

### **3.3 Drenado de condensado**

Una vez que el vapor se condensa al haber soltado todo su valioso calor latente, el condensado caliente se debe de remover inmediatamente. El condensado todavía es agua caliente con valor energético y se debe de regresar a la caldera aún cuando el calor disponible en un kilogramo de condensado es relativamente poco comparado al de un kilogramo de vapor.

### **3.4 Efecto del aire en la temperatura de vapor**

Cuando el aire y otros gases se introducen al sistema de vapor ocupan parte del espacio que debería estar ocupado únicamente por el vapor. La temperatura de la mezcla aire/vapor va a ser menor que la que sería para vapor puro.

La tabla VIII muestra la reducción en temperatura causada por diferentes porcentajes de aire a varias presiones.

**Tabla VIII. Reducción en temperatura causada por aire**

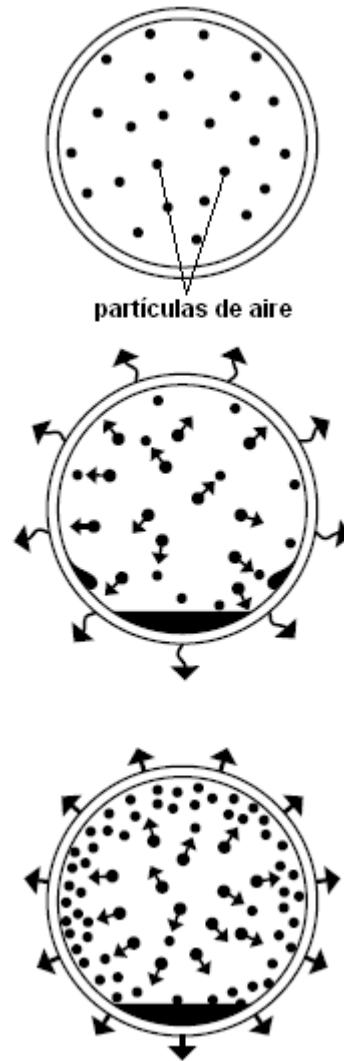
Presión (bar)	Temperatura Vapor Saturado (°C)	Temperatura del Vapor Mezclado con Varios Porcentajes de Aire (°C)		
		10%	20%	30%
2	120.2	116.7	113.0	110.0
4	143.6	140.0	135.5	131.1
6	158.8	154.5	150.3	145.1
8	170.4	165.9	161.3	155.9
10	179.9	175.4	170.4	165.0

Fuente: Amrstrong, manual para la conservación de vapor, pág. 8

### 3.5 Efecto del aire en la transferencia de calor

El vapor lleva consigo aire y otros gases durante su flujo normal hacia el interior de un intercambiador de calor. Estos gases, debido a que no se condensan y no se pueden drenar por gravedad forman una barrera entre el vapor y las superficies del intercambiador de calor. Y las excelentes propiedades aisladoras del aire reducen la transferencia de calor. De hecho, bajo ciertas condiciones, con un porcentaje tan bajo como 0.5% de aire en el volumen de vapor puede reducir en un 50% la eficiencia de la transferencia de calor, figura 56. Cuando los gases incondensables, principalmente aire, se continúan acumulando y no son removidos de la unidad, poco a poco llenan el interior del intercambiador de calor y eventualmente bloquean completamente el flujo del vapor. Entonces se dice que la unidad está bloqueada por aire.

**Figura 56. Aislamiento térmico debido a una capa de aire en las paredes del intercambiador de calor**



### 3.6 Análisis comparativo de las trampas de vapor

TRAMPA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p><b>Flote y Termostato</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descarga inmediata y continua del condensado sin dejar acumular el condensado en la tubería de entrada a la trampa.</li> <li>• Respuesta rápida a cambios en la tasa de condensación.</li> <li>• Alta capacidad para venteo de aire y gases mediante la válvula termostática.</li> <li>• Buena eficiencia térmica a cargas altas y bajas.</li> <li>• Manejo de condensado anormalmente sucio.</li> <li>• La temperatura de descarga de condensado sigue muy de cerca la curva de saturación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relativamente grande y pesada.</li> <li>• Cuando falla normalmente falla cerrada.</li> <li>• Es sensible a daños de golpe de ariete, especialmente el flotador y la válvula termostática de aire.</li> </ul>

TRAMPA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p><b>Cubeta Invertida</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construcción sencilla fuerte y confiable.</li> <li>• La temperatura de descarga sigue muy de cerca la curva de saturación.</li> <li>• Se puede usar con altas presiones de entrada.</li> <li>• Se puede usar con altas presiones de descarga, línea de retorno de condensado.</li> <li>• Respuesta aceptable a las cargas variables de condensado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El orificio de venteo en la cubeta tiene capacidad muy limitada de venteo de aire, lo que causa tiempos más largos de calentamiento del sistema de arranque.</li> <li>• Cuando no pasa aire, pasa vapor, se pierde su calor, a través del orificio de venteo en la cubeta.</li> <li>• Se puede instalar únicamente en una orientación o posición.</li> <li>• Puede perder el nivel de líquido, y cuando sucede esto, es necesario cebarla manualmente, ya que no tiene la capacidad de cebarse automáticamente.</li> <li>• Puede fallar cerrada o abierta.</li> <li>• Baja eficiencia térmica debido a pérdidas de calor y de vapor.</li> </ul>

TRAMPA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Bimetálica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construcción fuerte y confiable.</li> <li>• Resistente al golpe de ariete.</li> <li>• Puede instalarse en varias posiciones.</li> <li>• Sirve para vapor sobrecalentado.</li> <li>• Normalmente falla abierta</li> <li>• Puede ajustarse la temperatura de descarga</li> <li>• La descarga a baja temperatura elimina la formación del vapor instantáneo.</li> <li>• Buena eficiencia térmica cuando descarga a baja temperatura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elemento bimetálicos pueden necesitar reajuste después de un tiempo en servicio.</li> <li>• Algunos elementos bimetálicos, dependiendo el fabricante, son susceptibles a la corrosión.</li> <li>• Las partículas de suciedad pueden impedir el cierre completo de la válvula.</li> </ul>



TRAMPA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Expansión</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buena resistencia al golpe de ariete.</li> <li>• Alta eficiencia térmica.</li> <li>• Puede instalarse en cualquier posición.</li> <li>• Normalmente falla abierta.</li> <li>• La descarga a baja temperatura elimina el vapor instantáneo en la línea de condensado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elemento termostático sensible a la corrosión, dependiendo del fabricante de la trampa.</li> <li>• Respuesta lenta a cambios de carga.</li> <li>• Limitada a aplicaciones donde el condensado puede acumularse y enfriarse antes de ser descargado.</li> </ul>
<b>Termodinámica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construcción sencilla, sólo una parte móvil.</li> <li>• Tamaño pequeño y ligero.</li> <li>• Resistente al golpe de ariete.</li> <li>• Instalación en cualquier posición.</li> <li>• Respuesta rápida.</li> <li>• Descarga a la temperatura del vapor.</li> <li>• Falla abierta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No todos los modelos permiten alta presión de descarga.</li> <li>• No ventea aire del sistema.</li> <li>• No se puede ajustar a la temperatura de descarga de condensado.</li> <li>• Ruidosa</li> <li>• La suciedad causa desgaste.</li> </ul>

### 3.7 Estimación del costo de vapor

El costo es un parámetro muy importante en un sistema de vapor, ya que éste refleja la eficiencia en función de su utilización. Este valor adquiere significado cuando se presenta en forma de índices de costos que lo relacionan con datos de producción, los cuales pueden elaborarse mensualmente e indicar de esta manera la eficiencia en su utilización respecto a otros meses de operación. Además, estos costos del vapor son de utilidad en la consideración de variables en el proceso, ya que especifican la más económica y eficiente. Otro aspecto interesante de utilización de estos costos es la evaluación de las diferentes posibilidades de cogeneración, como lo son las turbinas de vapor, generadores *diesel*, etc.

Para la determinación del costo del vapor hay que tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- Presión de vapor
- Eficiencia de la caldera
- Precio del combustible
- Temperatura del condensado

El cálculo del costo del vapor se efectúa basado en los datos anteriormente expuestos, aplicados a balances de energía, tomando como referencia la entalpía del vapor y la calidad de éste.

A continuación se resuelve un ejemplo, en donde se muestra la secuencia de cálculo en un proceso determinado:

Una caldera genera vapor a una presión de 160 psia. La temperatura de agua de alimentación a la caldera es de 104 °F. La eficiencia es de 85% y el precio del combustible -bunker- es de Q.14.00 el galón, según dato del MEM de mayo de 2,007.

### **SOLUCIÓN: alternativa 1**

Presión de vapor: 160 psia

Entalpía de vapor:  $h_g = 1196.0$  Btu/lb, ver tabla de vapor

Temperatura del agua de alimentación: 104 °F (40°C)

Eficiencia de caldera: 85%

Poder calorífico del Bunker: 150,000 BTU/gal

Costo del Bunker: 14.00 Q/gal

### **Energía del agua de alimentación**

$$Q = mC_p\Delta T$$

$$m = 1 \text{ lb}$$

$$c_p = 1 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$$

$$\Delta T = (104^\circ\text{F} - 0^\circ\text{F}) = 104^\circ\text{F}$$

$$Q = 1\text{lb}(1\text{BTU} / \text{lb}^\circ\text{F})(104^\circ\text{F})$$

$$Q = 104\text{BTU}$$

La energía del agua de alimentación es de 104 Btu por libra.

Energía que debe aportar el bunker para transformar una libra de agua de alimentación a una libra de vapor a 160 psia.

$$Q = 1,196.0 \text{ BTU} / \text{lb} - 104 \text{ BTU} / \text{lb} = 1,092.0 \text{ BTU} / \text{lb}$$

**Costo del vapor por tonelada:**

$$Q = \frac{2,000 \text{ lb} / \text{Ton} * 1,092.0 \text{ BTU} / \text{lb}}{150,000 \text{ BTU} / \text{gal} * 0.85} = 17.13 \text{ gal} / \text{Ton} * Q 14.00 / \text{gal} = Q 239.82 / \text{Ton}$$
$$= Q 0.11991 / \text{libra}$$

Aproximadamente Q.0.12 la libra de vapor

EL costo por tonelada de vapor es de Q 239.82, Q 0.11991 la libra de vapor, tomando en cuenta solamente el combustible.

Se estima que el combustible representa el 80% del costo total del vapor.

**SOLUCIÓN: alternativa 2**

Calor contenido en el vapor a 160 psia:

$$h_g = 1196.0 \text{ Btu/lb, ver tablas de vapor}$$

Energía térmica en el agua de alimentación a 104 °F:

$$h_f = 72.038 \text{ Btu/lb, ver tablas de vapor}$$

$$1,196.0 \text{ Btu/lb} - 72.038 \text{ Btu/lb} = 1,123.962 \text{ Btu} / \text{lb}$$

Energía del combustible requerida para la producción del vapor:

$$\frac{1,123.962 \text{ Btu} / \text{lb}}{0.85} = 1,322.3082 \text{ Btu} / \text{lb} \text{ requeridos para producir vapor a 160 psia.}$$

Costo de la energía del combustible:

$$\frac{Q.14.00}{\text{Galón}} \times \frac{1 \text{ Galón}}{150,000 \text{ Btu}} = Q0.00009333 / \text{Btu}$$

Costo del vapor producido:

$$\frac{Q0.00009333}{\text{Btu}} \times \frac{1,322.3082 \text{ Btu}}{\text{lb}} = Q0.1234 / \text{lb}$$

Aproximadamente Q.0.12 la libra de vapor

### 3.7.1 El costo de no verificar las trampas

De los datos históricos el 20% de trampas de vapor fallarán dentro del primer año de instalación debido a la suciedad. Con una prueba y mantenimiento regular esta proporción puede reducirse aproximadamente al 6%.

De acuerdo a varias investigaciones se presenta un índice de falla con relación a los ciclos de inspección que nos muestra el porcentaje de trampas falladas del total de trampas de vapor en una instalación durante su funcionamiento:

1 año 6-10%

2 años 10-15%

3 años 15-35% tiempo de vida de una trampa de vapor

4 años >36%

5 años >45%

arriba de 5 años >65%

Por tal razón debemos crear un plan de inspección periódico para las trampas y así lograr cada vez una menor pérdida de vapor en nuestro sistema.

Existen distintos tipos de trampa en la industria, las cuales varían en tamaño, método de descarga, fabricante, etc. Debido a lo anterior se debe tomar en cuenta que aunque algunas trampas de vapor sean nuevas presentan pérdidas de vapor vivo.

La pérdida depende del tipo de trampa:

Termodinámica = 2-4 kg/hr (4 a 8 lbs/hr)

Cubeta invertida = 3-5 kg/hr (6 a 10 lbs/hr)

Flotador y termostato = 0 kg/hr

Termostática = 0 kg/hr

10 lbs/hr puede parecer un valor pequeño, pero multiplicada esta cantidad por la cantidad de trampas y las horas de operación en un año, para la gerencia esto significa pérdida de dinero.

### **3.8 Análisis costo-beneficio para trampas con pérdidas de vapor vivo**

Un considerable desperdicio de energía se encuentra en fugas de vapor en las trampas, juntas de expansión, válvulas, uniones, etc.

Un aumento considerable en los costos se debe generalmente a que se permiten pequeñas fugas, aparentemente sin importancia, las cuales no son reportadas por no considerarse importantes en términos de costo; por el tiempo necesario para su reparación, pues antes de la rápida y súbita alza de los precios del petróleo, se pensaba en general que éstas podían soslayarse y que su reparación no valía la pena, ni el tiempo, ni el costo.

#### **Ejemplo 1:**

Tenemos un sistema de vapor con tres trampas que se encuentran en mal estado y por lo tanto con fugas de vapor, determinando la cantidad de vapor fugado con equipo especial de medición. Realizar un análisis para justificar el cambio de estas trampas.

### Inventario de trampas en mal estado

No.	Ubicación	Detalle de ubicación	Modelo	Tamaño	Perdida de vapor
1	Área de Calderas	Caldera 1	X	½"	23.34 lb/h
2	Área de Cocina	Marmita # 1	XX	½"	22.20 lb/h
3	Área de Producción	Cosedora # 1	XXX	¾"	54.60 lb/h

Total 100.14 lb/h

Existe una pérdida de 100.14 lb/h de vapor por trampas en mal estado. Esto representa una pérdida de:

$$\frac{Q0.1199}{Libra} \times \frac{100.14Libra}{Hora} = Q12.00/Hora$$

Suponiendo una inversión aproximada para el cambio de las trampas en mal estado de Q 6,200.00, el retorno de la inversión RI sería en:

$$RI = \frac{Q6,200.00}{Q12.00/Hora} \times \frac{1día}{24Hora} = 21.52días$$

Realizando el cambio de las trampas en mal estado por trampas que no tienen pérdidas de vapor, obtenemos el retorno de la inversión, en una empresa que labora 24 horas diarias, en aproximadamente 22 días.



Ejemplo 2:

Una empresa posee un sistema de vapor con diferentes tipos de trampas. Dentro del sistema existen 22 trampas de cubeta invertida las cuales fueron reemplazadas hace unos días. La caldera trabaja a una presión de vapor de 160 psia. Realizar un análisis de costo para este tipo de trampa.

Total de trampas: 22

Pérdidas de vapor por trampa, nuevas: 5 lb/h

**Total pérdida de vapor lb/h** = 22 trampas \* 5 lb/h por trampa = 110 lb/h

Costo de la tonelada de vapor: Q 239.82

**Costo por hora** = 110 lb/h \* Q 239.82/2000lb = Q 13.19/hora

La inversión aproximada del reemplazo de las 22 trampas de cubeta invertida por trampas de flote y termostato es de aproximadamente Q.45,400.00, según cotización realizada en una empresa distribuidora de trampas.

Retorno de la Inversión RI:

$$RI = \frac{Q45,400.00}{Q13.19/hora} \approx 3,442horas \approx 4.78meses$$

Se recupera lo invertido en las trampas de flote y termostato en aproximadamente 4.78 meses, trabajando la empresa 24 horas diarias. Esto representa un ahorro de combustible mensual de:

$$Q13.19/hora \times 24horas \times 30dias = Q9,496.8$$

un ahorro anual de:

$$Q9,496.8 / mes \times 12 meses = Q113,961.6$$

Según lo visto en el análisis anterior es conveniente hacer una inversión para sustituir las trampas que dejan escapar vapor vivo, cuando se hace este cambio se obtiene una reinversión, además, al contar con un sistema de vapor con trampas más eficiente vamos a tener un ahorro energético bastante considerable. Este ahorro energético hará nuestro sistema de vapor más eficiente, obtendremos dispositivos de proceso que trabajen de una manera más efectiva y la gerencia estará más satisfecha al mejorar tanto la productividad como el ahorro de dinero.

### **3.9 Análisis costo-beneficio para trampas sin pérdidas de vapor vivo**

Cuando un sistema de vapor ha sido evaluado periódicamente en busca de alguna fuga y que posee trampas que tienen un funcionamiento sin pérdidas de vapor, además, debidamente instaladas; se obtiene un sistema que va a presentar mucha ventaja en comparación con otro que no se le da el mantenimiento correcto y que posee en sus líneas trampas con un trabajo poco eficiente.

A continuación se presenta un análisis parecido al anterior con la diferencia que este sistema cuenta con trampas sin pérdidas de vapor vivo. Aquí se observa la diferencia en la eficiencia de los sistemas, el ahorro de energía, ahorro en efectivo entre otras ventajas.

Ejemplo 1:

Realizando el análisis para las tres trampas del ejemplo número 1 de la sección 3.8 pero sin pérdidas de vapor vivo tenemos:

No.	Ubicación	Detalle de ubicación	Modelo	Tamaño	Perdida de vapor
1	Área de Calderas	Caldera 1	X	½"	0 lb/h
2	Área de Cocina	Marmita # 1	XX	½"	0 lb/h
3	Área de Producción	Cosedora # 1	XXX	¾"	0 lb/h

Total 0 lb/h

Existe una pérdida de 0 lb/h de vapor debido a que las trampas están en buen estado. Esto representa un ahorro de:

$$\frac{0.1199}{\text{Libra}} \times \frac{100.14 \text{Libra}}{\text{Hora}} = 12.00 / \text{Hora}$$

Este ahorro se da cuando las trampas están en buen estado. Además, se obtiene un ahorro en combustible que se representa como ahorro de dinero:

Ahorro de combustible mensual de:

$$12.00 / \text{hora} \times 24 \text{horas} \times 30 \text{días} = 8,640.0$$

y un ahorro anual de:

$$8,640.0 / \text{mes} \times 12 \text{meses} = 103,680.0$$

Lo anterior hace ver que es preferible hacer una pequeña inversión para hacer un cambio de trampas que fugan vapor por otras que trabajen sin pérdidas de vapor vivo. Se realiza una pequeña inversión para obtener grandes beneficios energéticos y por consiguiente también monetarios.

## CONCLUSIONES

1. En la variedad de industrias se realizan muchas actividades que involucran vapor, por lo tanto, las personas que allí se desenvuelvan deben manejar un vocabulario extenso respecto al tema.
2. Hoy en día se cuenta trampa que funcionan sin presentar pérdidas de vapor vivo, estas se deben usar en la mayoría de proyectos para obtener un elevado ahorro de energía.
3. Los métodos de inspección son un soporte que debemos explotar para garantizar el mayor tiempo posible el buen funcionamiento de nuestro sistema de vapor.
4. Se debe conocer, al seleccionar una trampa, las herramientas y la forma adecuada de instalación. Así se logran beneficios como: evitar un sobredimensionamiento y obtener una eficiencia mayor en los equipos.
5. Los programas para computadora son una herramienta que se ha venido desarrollando con el transcurso de los años. Los ingenieros, como jefes de proyectos o departamentos dedicados al control y mantenimiento de los mismos deben ponerse al tanto con la tecnología y actualizarse constantemente para llevar a su empresa a niveles competitivos.
6. Los análisis costo-beneficio ayudan a visualizar la importancia de poseer equipo eficiente en los sistemas de vapor.



## RECOMENDACIONES

1. Asistir constantemente a capacitaciones para obtener habilidades que ayuden a lograr mayor eficiencia en los nuevos proyectos y mejorar el mantenimiento de los existentes.
2. A los encargados de planta, realizar análisis de costo para obtener una mejor visión del ahorro energético que se alcanza cuando se tienen dispositivos más eficiente en los sistemas de vapor.
3. Al departamento de mantenimiento, revisar constantemente las trampas de vapor para evitar los tiempos prolongados, requeridos en el mantenimiento correctivo.
4. A los operadores relacionados con el manejo de sistemas de vapor, investigar en el tema para poseer conocimientos básicos en el manejo del vocabulario utilizado en esta área y agilizar los procesos.
5. A los estudiantes de ingeniería y los ingenieros que laboran en distintas áreas, aplicar la variedad de herramientas modernas, para encarrilar a su país cada día más hacia el desarrollo, y entregar a futuras generaciones técnicas avanzadas de producción y grandes ventajas en los sistemas de vapor.





## BIBLIOGRAFÍA

1. Baumister, Theodore. **Manual del Ingeniero Mecánico**, 8ª. Edición, México: Editorial Mc Graw Hill, 1992.
2. Instituto Centroamericano de investigación y tecnología industrial. **Manual de horro de energía en sistemas de vapor.**
3. Yunus A. Cengel y Michael A. Boles. **Termodinámica**. 5ta. edición, México: Editorial Mc Graw Hill, 2003. 829 pp.
4. <http://www.armstrong.com>. **Guía para la conservación de vapor.** Líneas de vapor
5. <http://www.gestra.de>. **Trampas o purgadores y válvulas.** Trampas de vapor.
6. <http://www.spiraxsarco.com>. **Design of Fluid Systems.** Sistemas de vapor.