

UNIDAD DE GESTIÓN DEL PROYECTO



Curso de capacitación: EFICIENCIA ENERGÉTICA EN SERVICIOS AUXILIARES: Redes de vapor y condensado

Expositor: Ing. Victor Arroyo – Consultor Nacional Proyecto ZIS
Lima, 08 al 22 de julio de
2021

Operado por:



Punto focal The GEF:



Financiado por:



Implementado por:



MÓDULO 4

Eficiencia en redes de vapor y condensado

1. Conceptos básicos de vapor
2. Descripción de la red de vapor y condensado
3. Oportunidades de eficiencia energética
4. Caso práctico

Conceptos básicos de vapor

Vapor saturado:

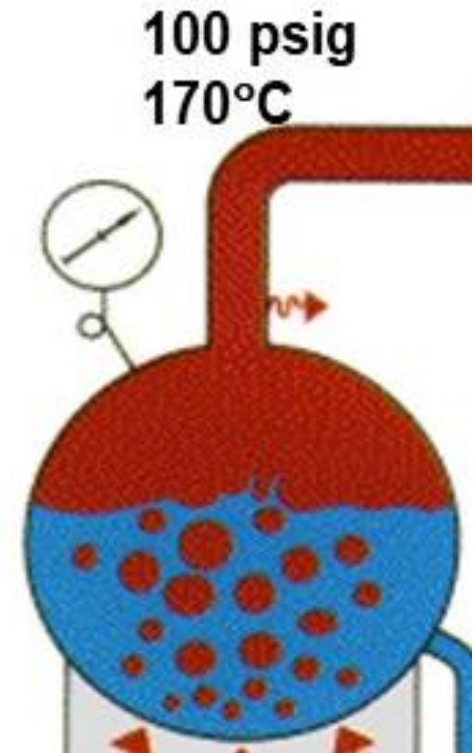
Aquel que está en contacto con el agua que lo produce. Su temperatura es la del agua bullendo a la presión de la caldera.

Calor sensible:

Produce una elevación de temperatura del agua, sin cambio de estado.

Calor latente:

Produce un cambio de estado en el agua, sin cambio de temperatura.



$$\text{Calor total} = \text{calor sensible} + \text{calor latente}$$

Conceptos básicos de vapor

El calor latente es mayor a menor presión, pero baja la temperatura.

Esto se aprovecha en el intercambio de calor en los equipos

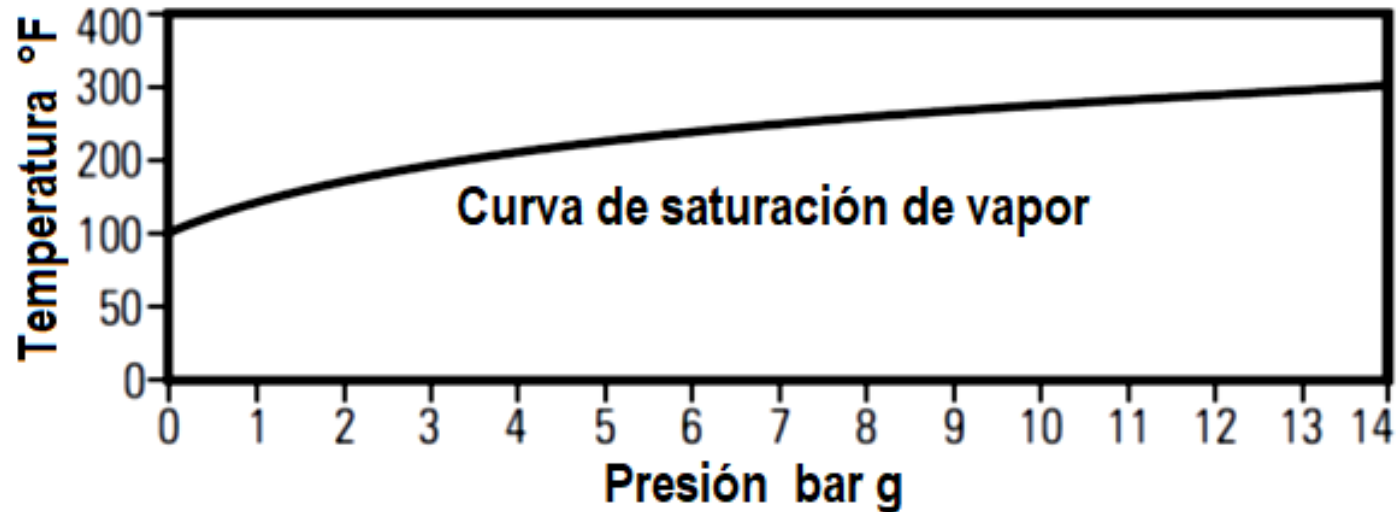
Extracto de tabla de vapor saturado

Presión Bar g	Temperatura saturación °C	Entalpía kJ/kg		
		Agua h_f	Evaporación h_{fg}	Vapor h_g
0	100	419	2257	2676
1	120	506	2201	2707
2	134	562	2163	2725
3	144	605	2133	2738
4	152	641	2108	2749
5	159	671	2086	2757
6	165	697	2066	2763
7	170	721	2048	2769

CALOR LATENTE

Conceptos básicos de vapor

Para el vapor saturado a cada presión le corresponde una sola temperatura.

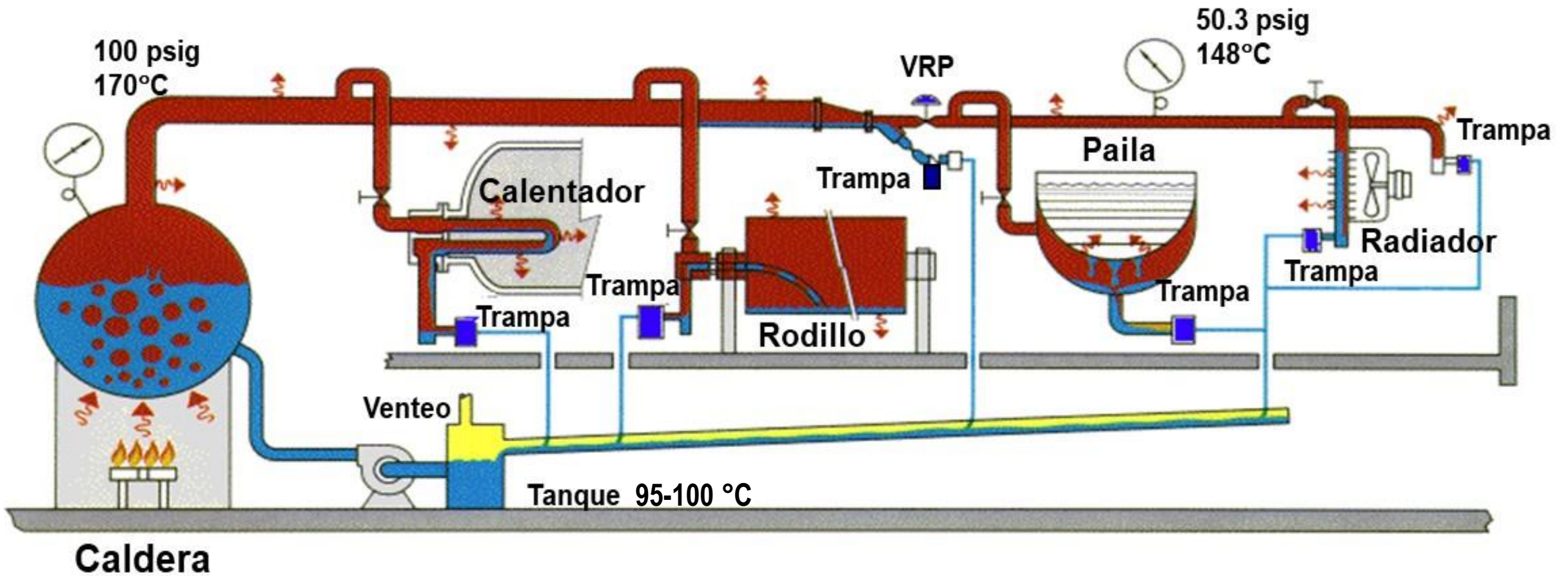


El vapor es un fluido térmico ideal cuando se necesita calor entre 90 y 250°C.

El 60% de las industrias usan vapor para calentamiento.

Descripción de la red de vapor y condensado

■ Condensado ■ Vapor ■ Vahos

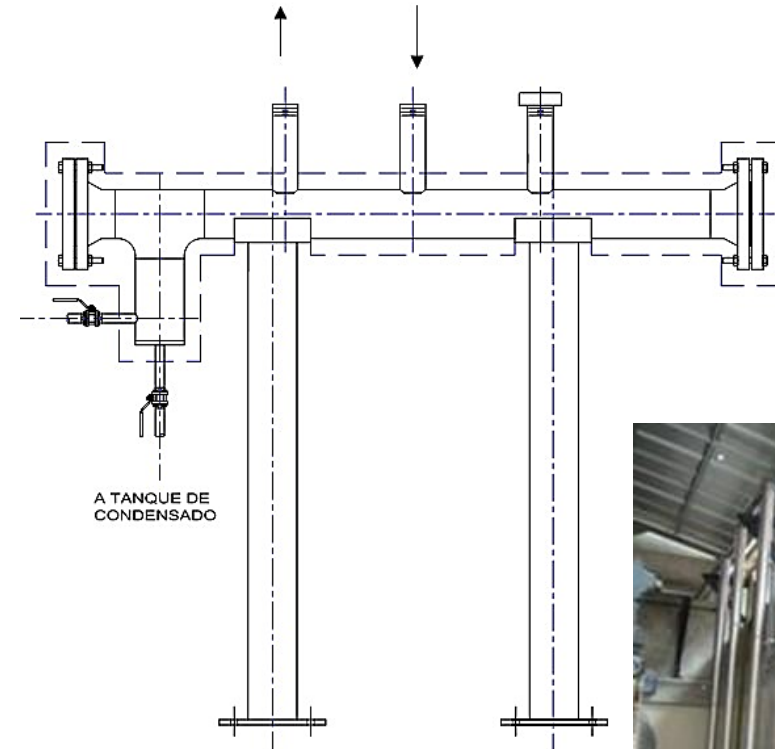


Descripción de la red de vapor y condensado

DISTRIBUCIÓN DE VAPOR POR TUBERÍA:

Manifold:

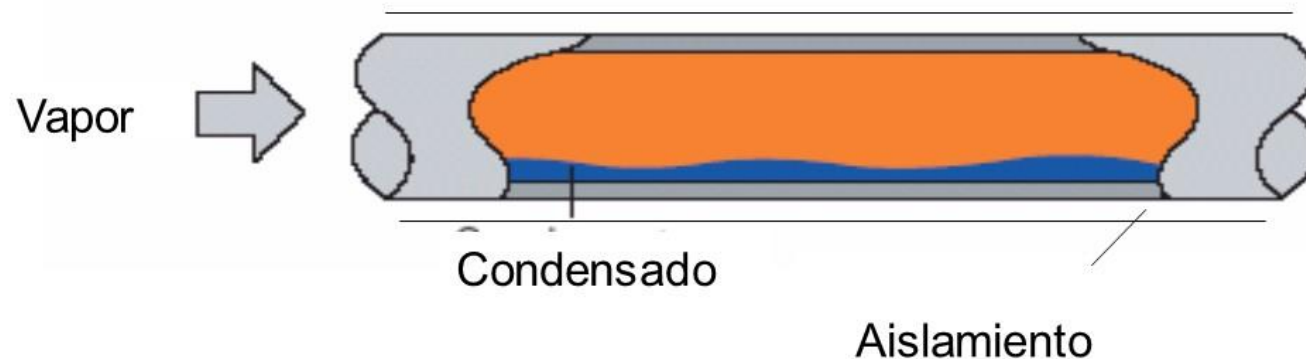
- Colecta el vapor de la caldera y separa la humedad.
- Distribuye vapor a los usuarios (actuales y futuros).
- Actúa como acumulador de vapor, reduce posibles golpes de ariete.
- Permite un control rápido en una emergencia.
- Quedan válvulas acopladas para ampliaciones, evitando el desbalanceo por tomas en línea.



Descripción de la red de vapor y condensado

DISTRIBUCIÓN DE VAPOR POR TUBERÍA:

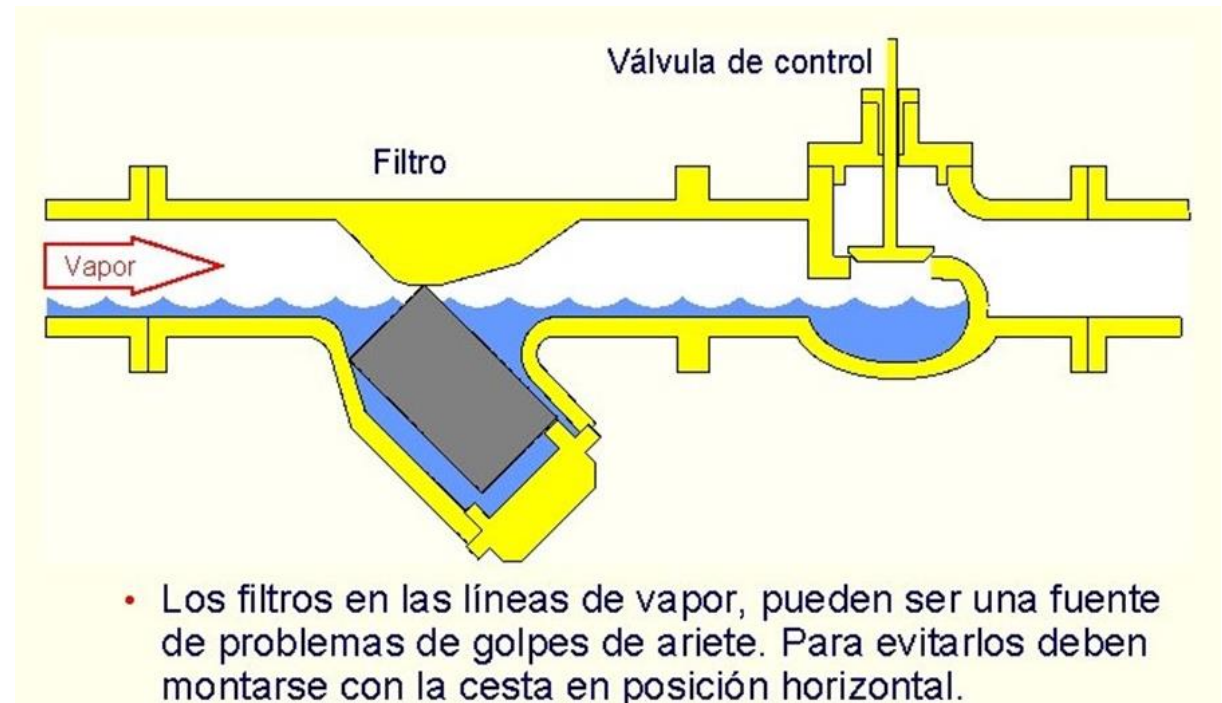
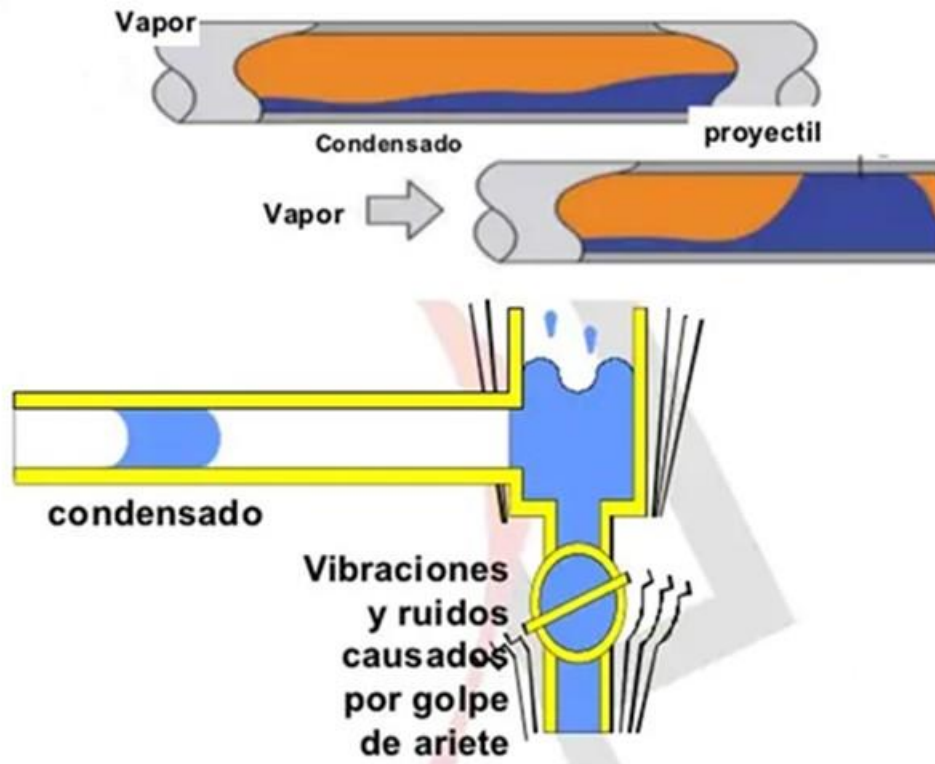
- El vapor viaja por la tubería (aprox 20 m/s) por efecto de la presión en la caldera (100 psig).
- El vapor (170°C) irradia calor por la superficie de la tubería, a pesar de estar aislada (90% eficiencia de aislamiento).
- Al perder calor al ambiente parte del vapor se transforma en condensado.



Descripción de la red de vapor y condensado

DISTRIBUCIÓN DE VAPOR POR TUBERÍA:

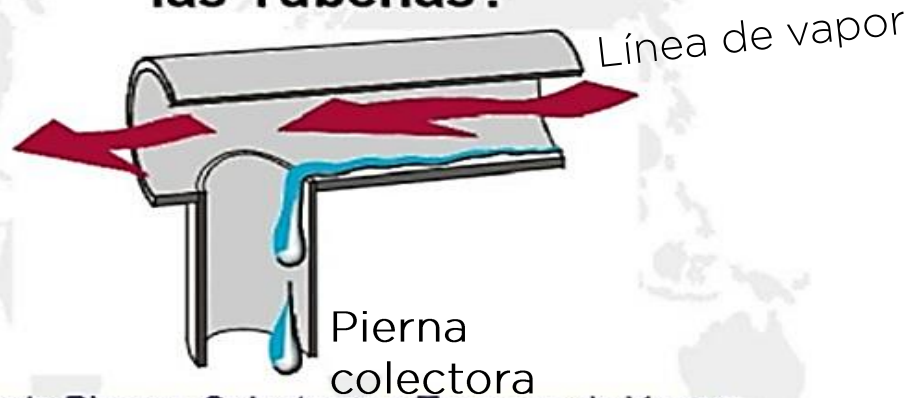
- Es importante retirar el condensado porque ocasiona problemas de transmisión de calor y golpes de ariete.



Descripción de la red de vapor y condensado

DISTRIBUCIÓN DE VAPOR POR TUBERÍA:

Cómo Eliminamos el Condensado de las Tuberías?



- Instalando Piernas Colectoras y Trampas de Vapor
- Dando Inclinación adecuada a la Tubería

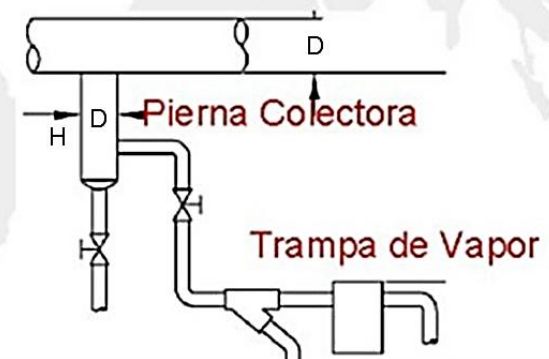
Se instalan cada 30 a 50 m en troncales, y en puntos críticos:

- Final de línea.
- Delante de elevaciones de tuberías.
- Puntos bajos de tuberías.
- Delante de dilatadores y liras ascendentes o en puntos bajos de liras descendentes.
- Delante de válvulas de control, etc.

Table CG-12. Recommended Steam Main and Branch Line Drip Leg Sizing

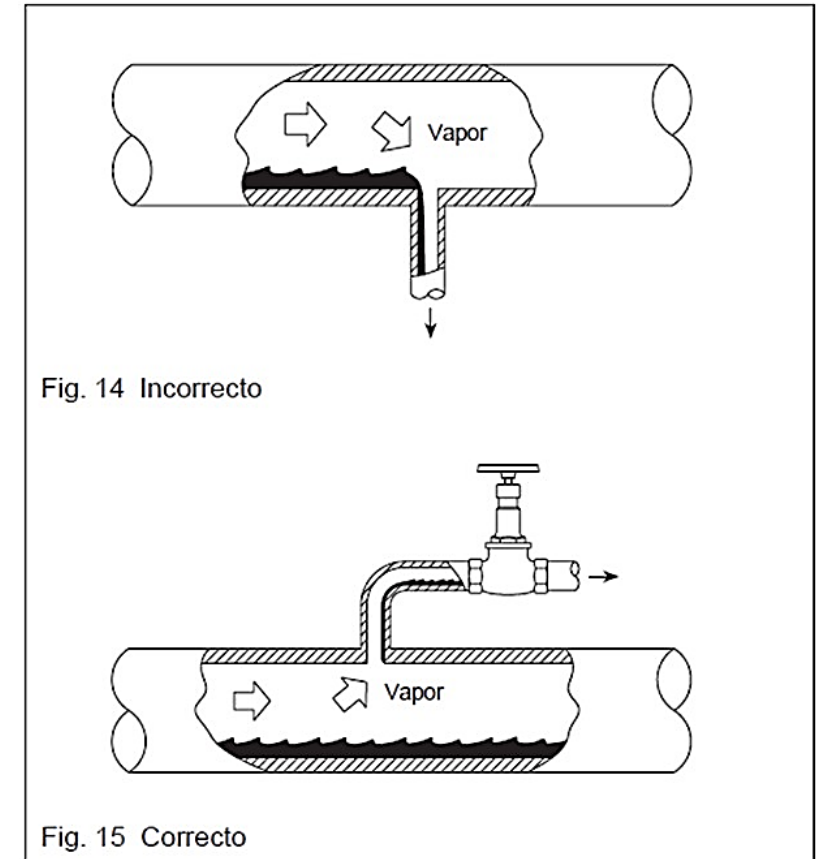
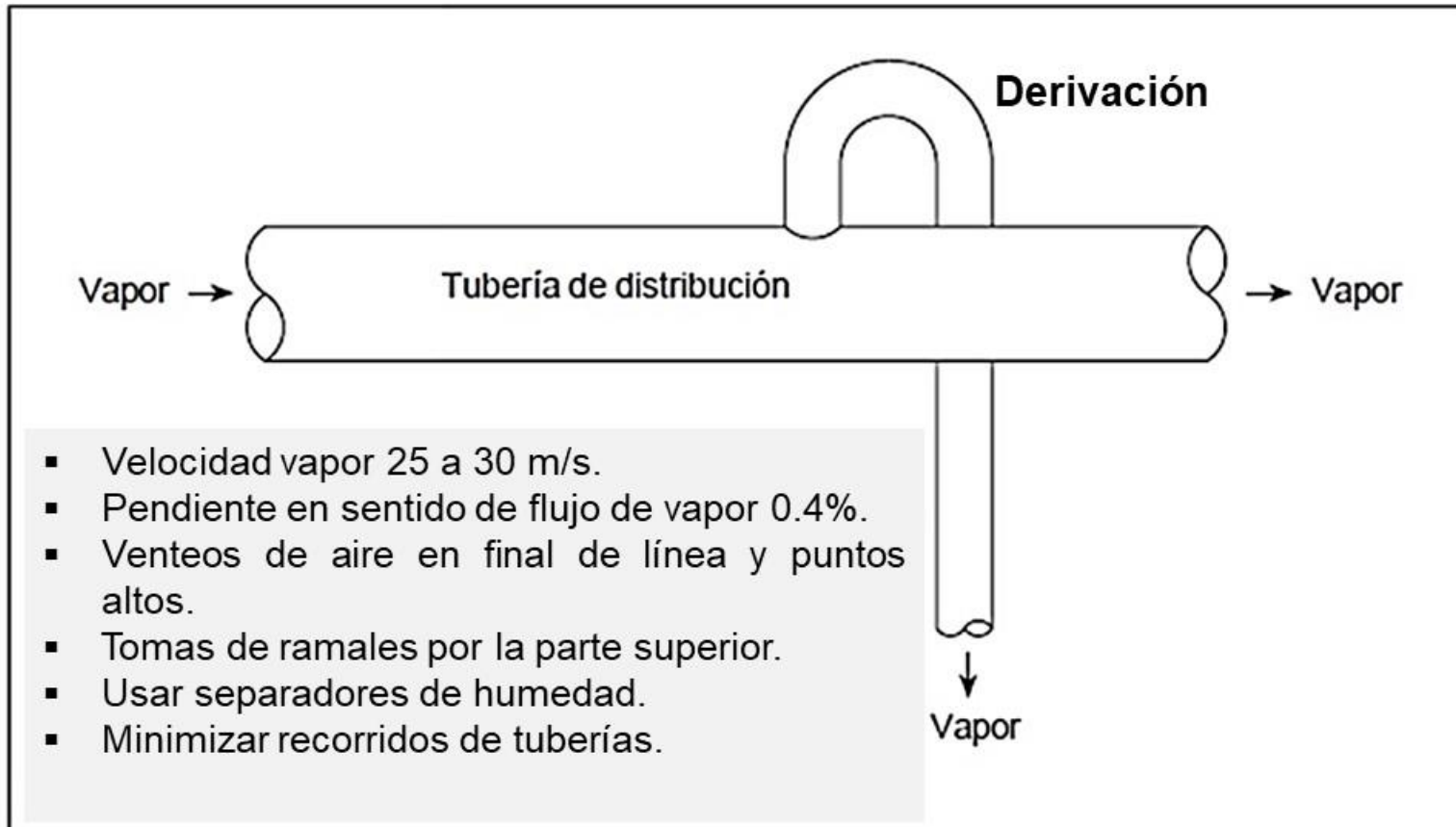
M Steam Main Size (in)	D Drip Leg Diameter (in)	H	
		Drip Leg Length Min. (in)	
		Supervised Warm-Up	Automatic Warm-Up
1/2	1/2	10	28
3/4	3/4	10	28
1	1	10	28
2	2	10	28
3	3	10	28
4	4	10	28
6	4	10	28

Las Piernas Colectoras proveen espacio suficiente para capturar *Condensado* y *Basura*, y dirigir el condensado hacia la Trampa de Vapor



Descripción de la red de vapor y condensado

DISTRIBUCIÓN DE VAPOR POR TUBERÍA:

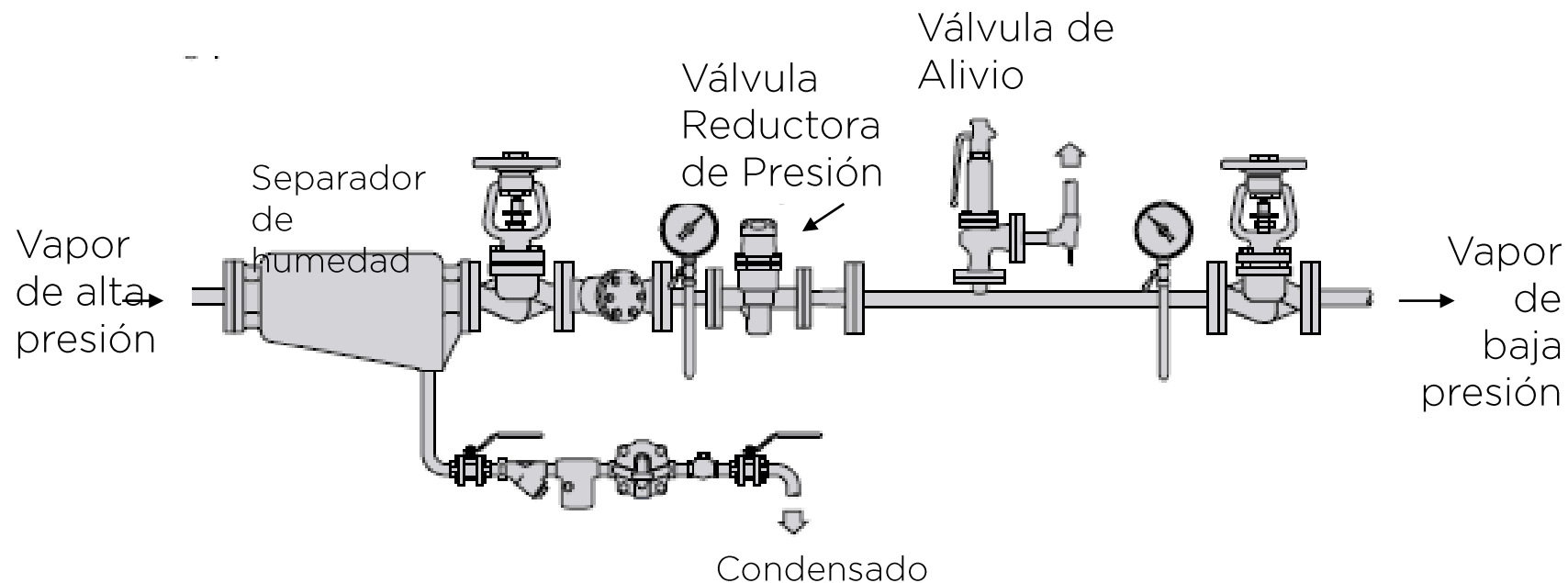


Descripción de la red de vapor y condensado

DISTRIBUCIÓN DE VAPOR POR TUBERÍA:

Estación Reductora de Presión (ERP):

Reduce la presión del vapor generado en la caldera (100 psi) a la presión requerida por los usuarios (30, 50, 80...psi).

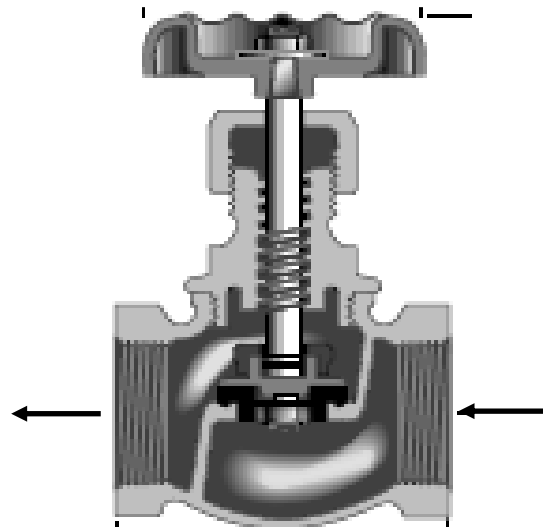


Descripción de la red de vapor y condensado

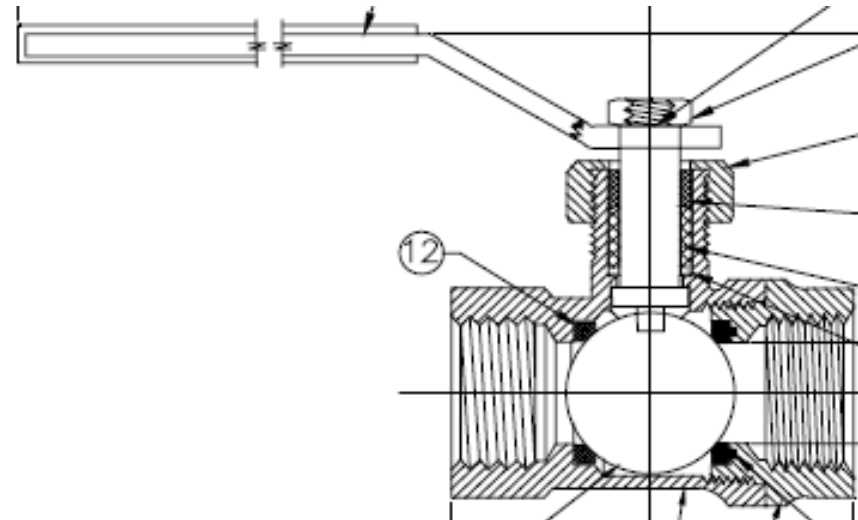
DISTRIBUCIÓN DE VAPOR POR TUBERÍA:

Válvulas:

- Válvulas de Globo: Sirve para regulación de flujo.
- Válvulas de Bola: sirven para bloqueo de flujo, trabajan todo abierto o cerrado. No usar para regular!



Válvula de Globo



Válvula de Bola

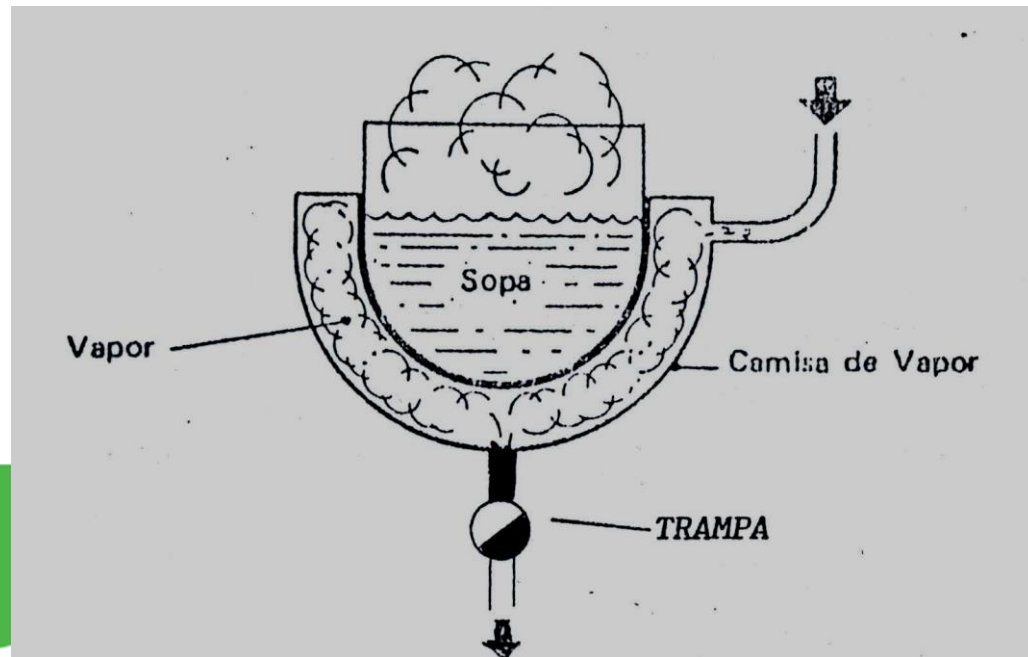


Descripción de la red de vapor y condensado

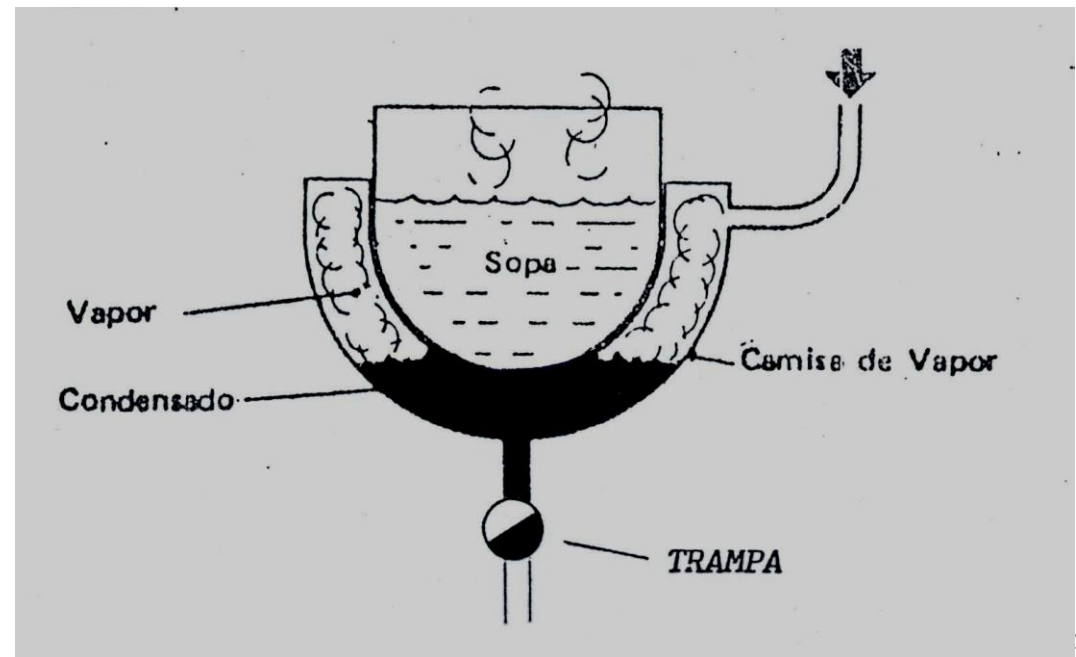
LA SUPERFICIE DE CALEFACCIÓN:

- Es aquella que está en contacto directo con la fuente de calor (vapor).
- Cuando el vapor cede su calor latente al producto, se forma condensado.
- Si el condensado se acumula, disminuye la superficie de calefacción.

Marmita con trampa en buen estado



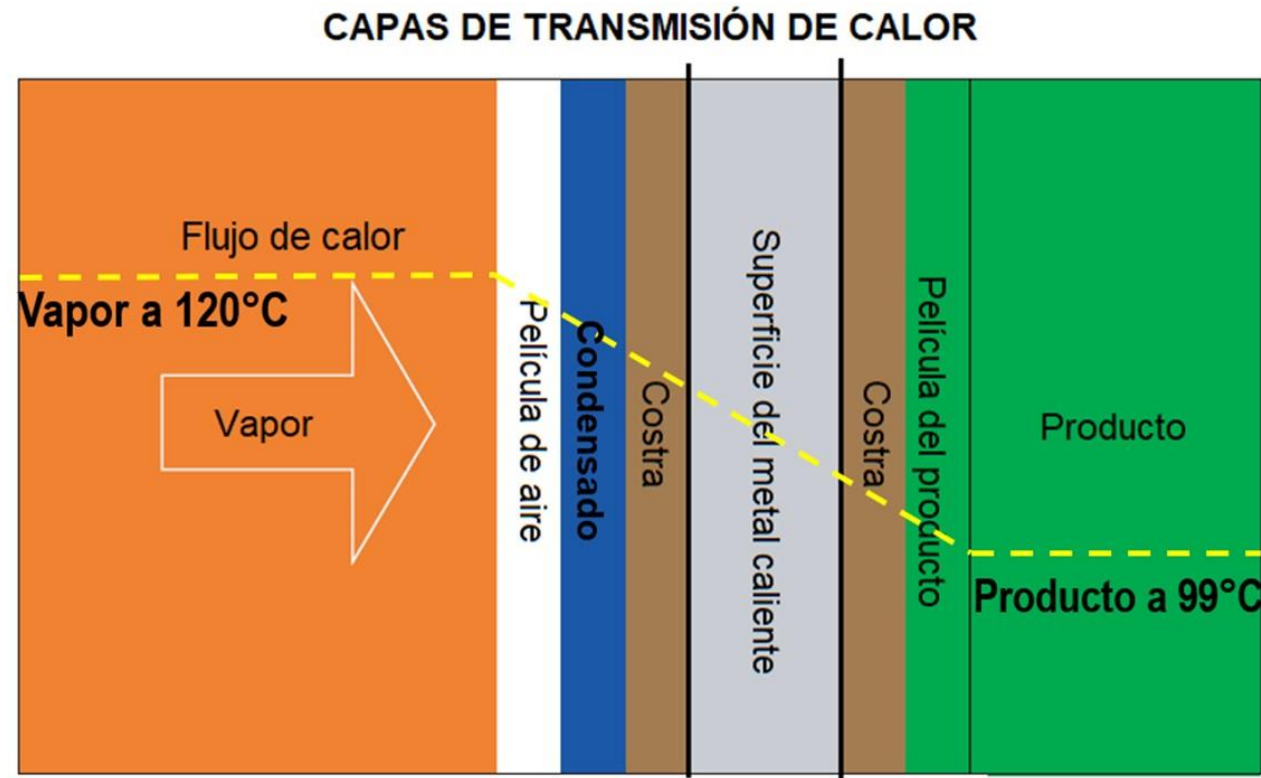
Marmita con trampa deficiente



Descripción de la red de vapor y condensado

LA SUPERFICIE DE CALEFACCIÓN:

- La acumulación de una capa de condensado en la superficie reduce la transmisión de calor y la temperatura en el producto.



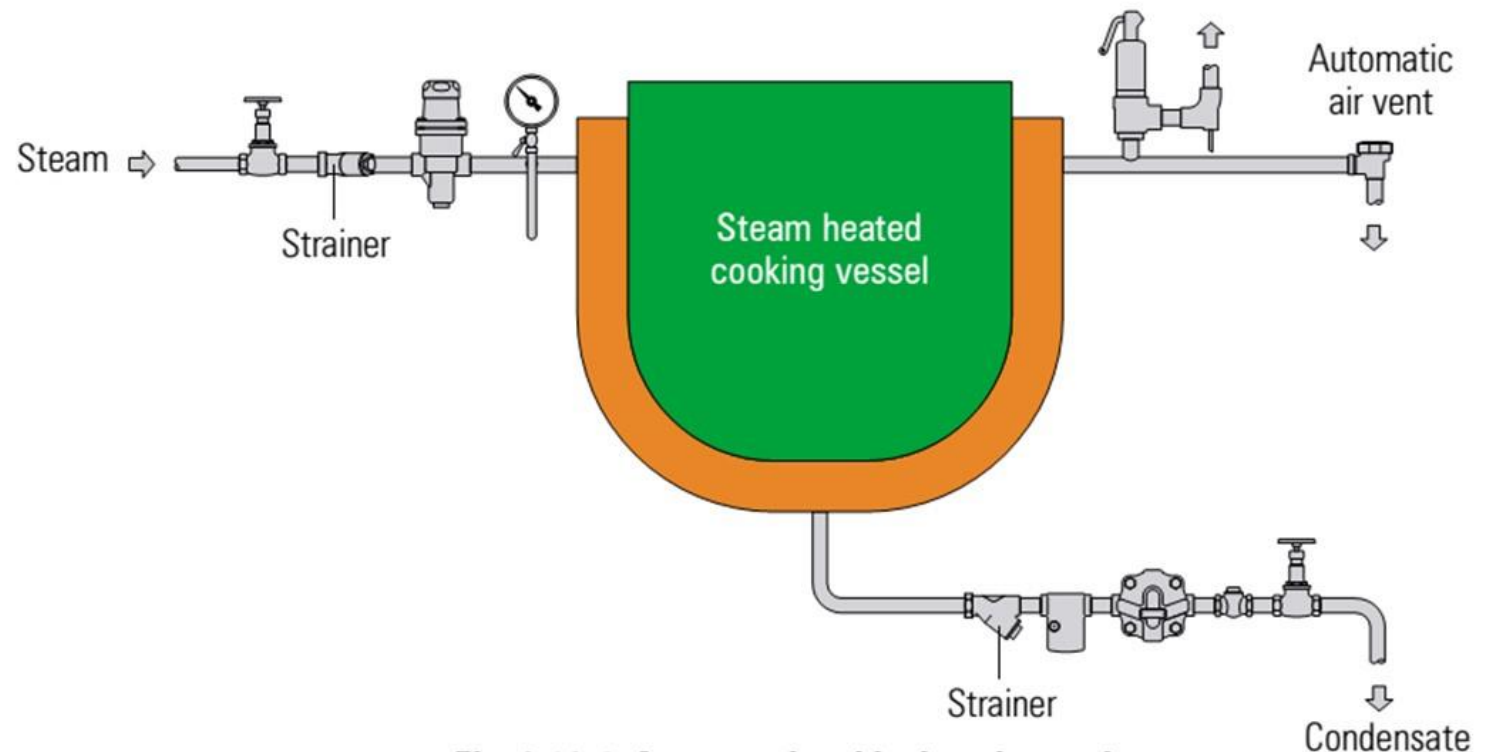
COMO EL CONDENSADO AFECTA EL CALENTAMIENTO, ES NECESARIO EVACUARLO A MEDIDA QUE SE PRODUCE!

Descripción de la red de vapor y condensado

MANERAS DE CALENTAR CON VAPOR SATURADO:

a) Vapor indirecto

- Se realiza por medio de chaquetas, serpentines intercambiadores.
- El vapor y el condensado no entran en contacto con el material a calentar.
- El condensado se recupera.



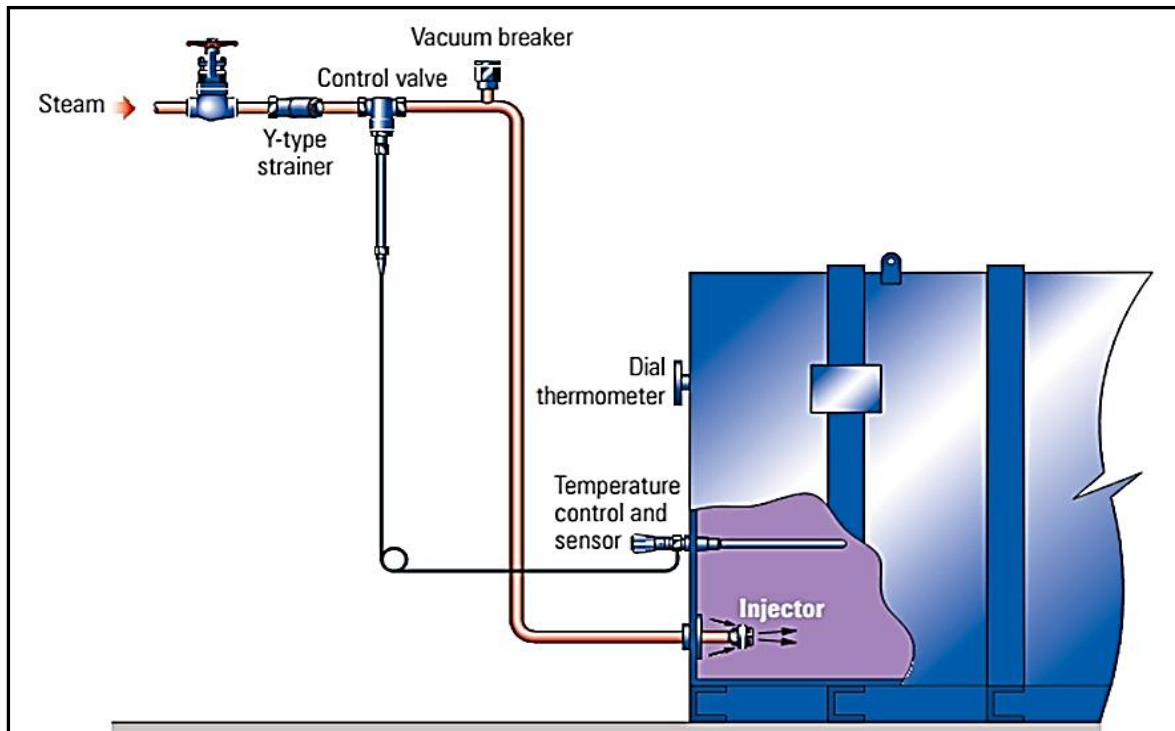
Descripción de la red de vapor y condensado

MANERAS DE CALENTAR CON VAPOR SATURADO:

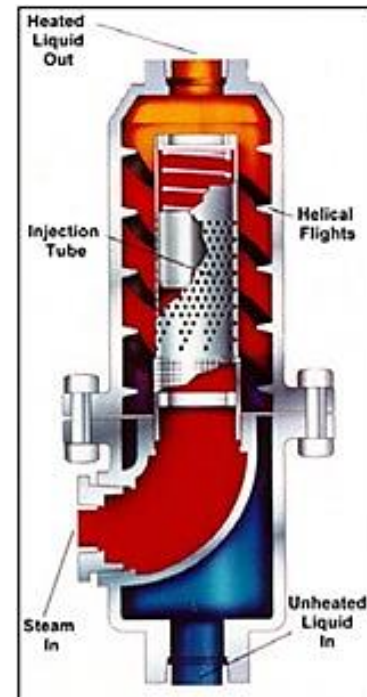
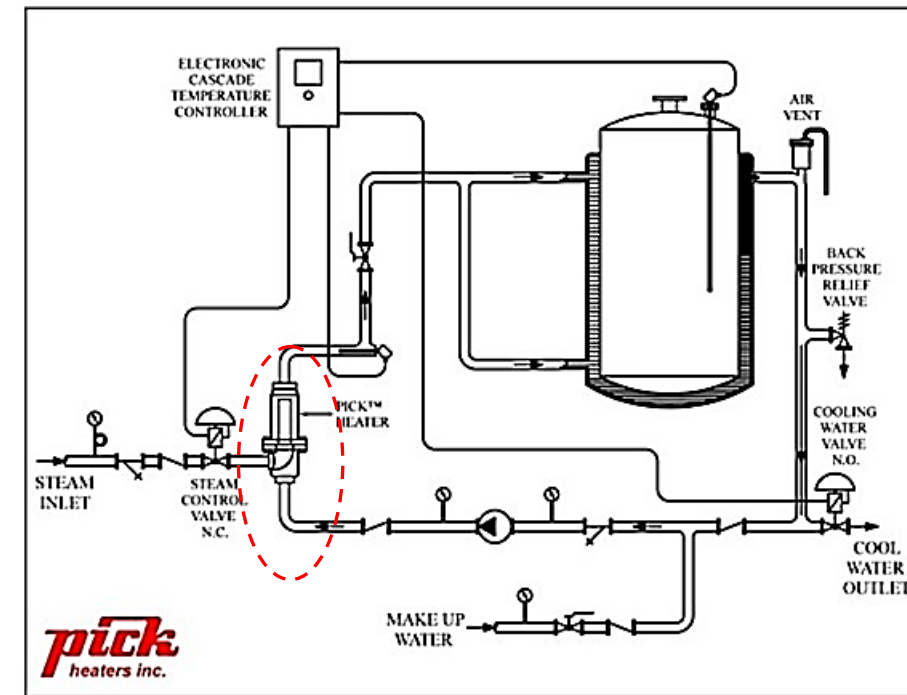
b) Vapor directo (inyección directa)

- Cuando se requiere calentamiento rápido y el condensado no es problema.
- El condensado no se recupera.

CALENTAMIENTO DE AGUA CON VAPOR DIRECTO EN TANQUE



CALENTAMIENTO DE AGUA CON VAPOR DIRECTO EN LÍNEA



Descripción de la red de vapor y condensado

TRAMPAS DE VAPOR:

Funciones:

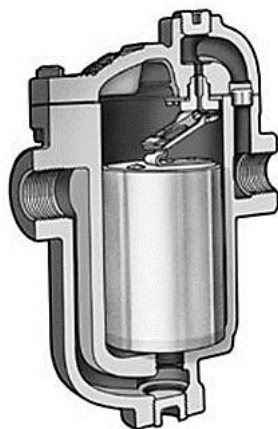
- a) Drenar el condensado formado.
- b) Eliminar el aire y los gases incondensables.
- c) Eliminar cualquier suciedad presente en el vapor y/o los condensados.
- d) No permitir el escape del vapor.

MECANICAS

Trampa de flotador



Trampa de balde invertido



Trampa termodinámica

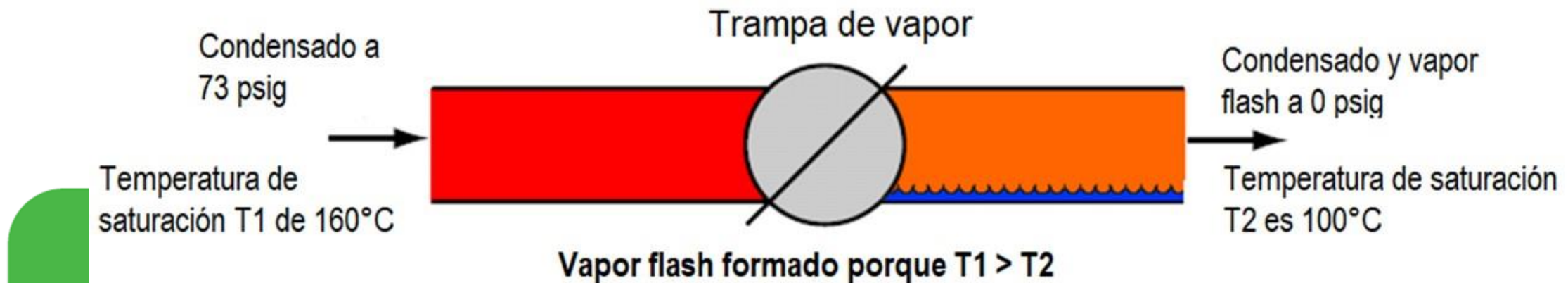


Característica	Mecánicas	Termostáticas	Termodinámicas
Tipo de operación	Intermitente	Intermitente	Intermitente
Capacidad de manejo de aire	Buena	Excelente	Mala
Respuesta	Inmediata	Buena	Lenta
Problemas por contrapresión	No	No	Sí
Manejo de suciedad	Excelente	Regular	Mala
Capacidad de purga	Buena	Buena	Buena
Acumulación de condensados	No	Sí	Sí
Duración	5 a 10 años	2 a 3 años	1 año

Descripción de la red de vapor y condensado

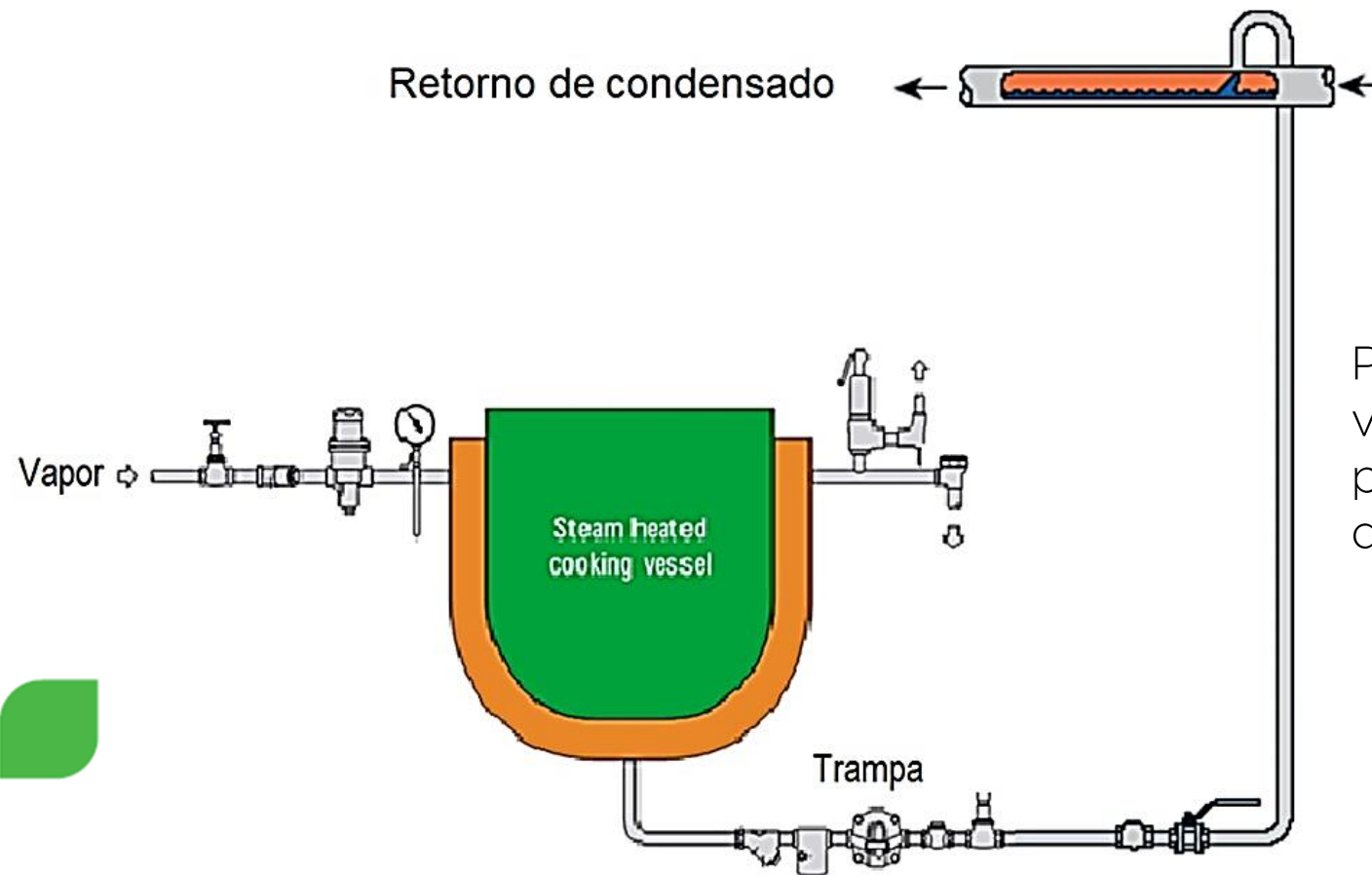
RECUPERACIÓN DE CONDENSADO:

- El condensado se recupera, atravesando una trampa de vapor, y retorna al tanque de condensado por una tubería.
- Como la temperatura del condensado después de la trampa es menor, se forma vapor flash.



Descripción de la red de vapor y condensado

RECUPERACIÓN DE CONDENSADO:



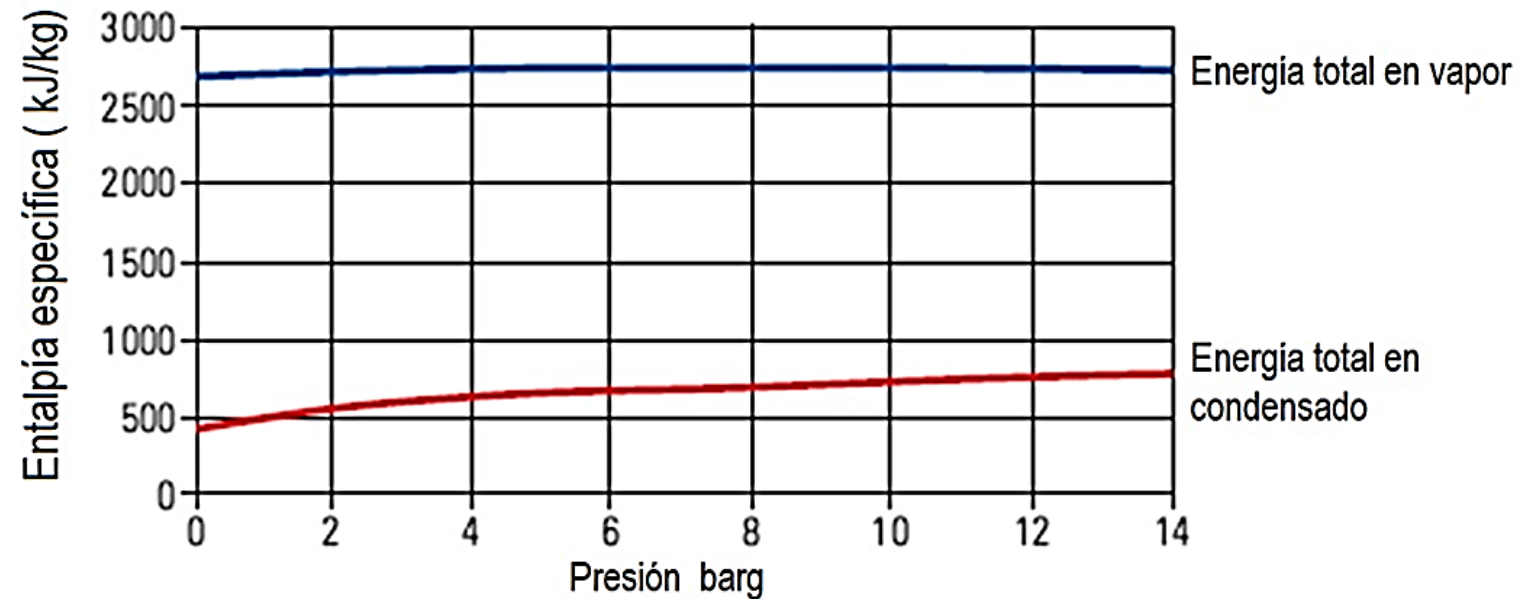
Por cada 15 psi de presión de vapor antes de la trampa, se puede elevar el condensado 10 m de altura.



Descripción de la red de vapor y condensado

Recuperar condensado es importante porque:

- Contiene energía, permite reducir el consumo de combustible en la caldera.
- Reduce el consumo de aditivos y agua blanda.
- La caldera sufre menos tensión térmica.



Contenido de calor del vapor y condensado a la misma presión.



Descripción de la red de vapor y condensado

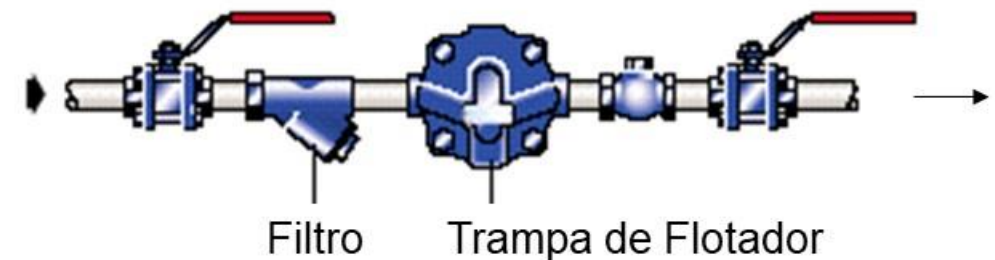
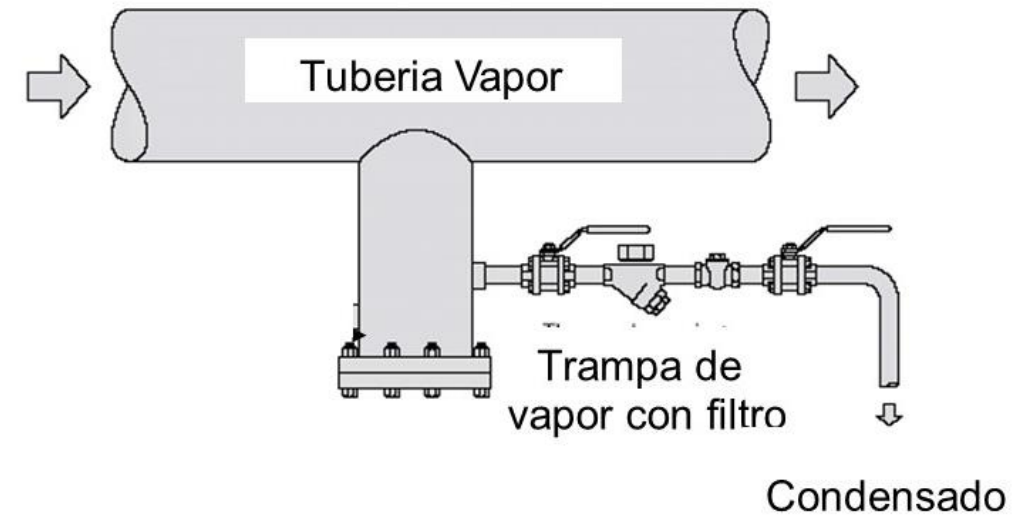
FILTROS:

Retiene suciedad presente en el condensado.

- Inst. nuevas: arrastres de limaduras, arena de pulido, etc.
- Inst. viejas: productos de corrosión e incrustaciones.

Evita problemas como:

- ✓ Taponamiento de tuberías.
- ✓ Falla de trampas: fuga vapor
- ✓ Mal cierre de válvulas: fuga vapor



Oportunidades de eficiencia energética

Las principales medidas para ahorrar energía son:

1. Reparar fugas de vapor.
2. Reparar o cambiar trampas de vapor.
3. Seleccionar e instalar bien trampas de vapor.
4. Monitorear periódicamente trampas de vapor.
5. Eliminar aire de líneas y equipos.
6. Aislar tuberías de vapor y condensado.
7. Recuperar condensado.
8. Recuperar vapor flash.
9. Operar equipos a la menor presión posible.

Oportunidades de eficiencia energética

1. REPARAR FUGAS DE VAPOR

Las fugas representan pérdidas de agua y energía (combustible).

COSTO DE PERDIDA DE VAPOR

Longitud Penacho (metros)	Pérdida Vapor (kg/h)	Pérdida económica (*) (US\$/año)		
		GN	R-6	Diésel
0.50	6	1078	1677	3015
0.75	11	1976	3075	5527
1.00	16	2875	4473	8040
1.25	26	4672	7269	13064



(*)Base : 7000 h/año, 82% Efic. Caldera, Costo US\$/t :
71.8 (Diésel), 39.9 (R-6), 25.7 (GN). Año: Ene 2021

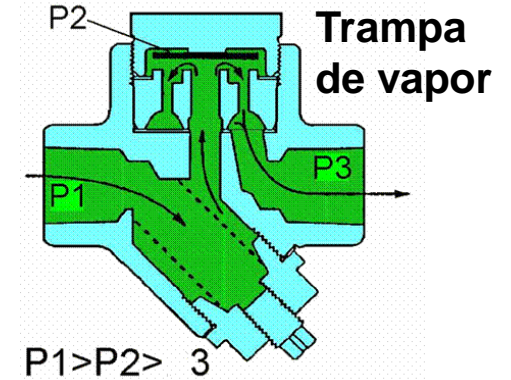
Oportunidades de eficiencia energética

2. REPARAR O CAMBIAR TRAMPAS DE VAPOR

Las fugas ocurren por defectos en trampas.

PERDIDAS DE VAPOR POR TRAMPAS

Tamaño Trampa	Pérdida Promedio (kg/h)	N° trampas falladas	Pérdida total (kg/h)
3/4"	25	5	125
1"	60	4	240
2"	175	1	175
Pérdida total de vapor (kg/h)			540



Si el costo del vapor es de 25.7 US\$/t (GN), y si la planta trabaja 7000 h/año, entonces la pérdida es **97,146 US\$/año !!!**

Oportunidades de eficiencia energética

2. REPARAR O CAMBIAR TRAMPAS DE VAPOR

- Si fallan abiertas : fuga de vapor por trampa.
- Si fallan cerradas : fuga de vapor por by-pass.

Las trampas que fallan ocasionan problemas :

- Pérdidas de energía.
- Mala transmisión de calor.
- Sobrepresión del sistema de condensado.
- Operación deficiente de otros equipos.



Oportunidades de eficiencia energética

3. SELECCIONAR E INSTALAR BIEN TRAMPAS DE VAPOR

Cada punto de drenaje o equipo usuario de vapor requiere de una trampa de vapor específica. Los fabricantes proveen tablas para seleccionarlas.

Aplicación	1era Opción	2da Opción	Factor de Seguridad
Cabezal de la Caldera (Sobrecalentado)	IBLV	F&T	1.5
	IBCV - Pulido	Wafer	Carga al Arranque
Tubertas Principales de Vapor & Ramales de las Tubertas (Sin Congelamiento) (Congelamiento)	IB (CV si la presión varía)	F&T	2; 3 si estaría al final de la tubería, antes de la válvula, o en un ramal
	IB	Termostática o Disco	(Mismo que arriba)
Máquina de Absorción de Vapor (Enfriador)	F&T	IB, con Venteador Externo	2, a presión diferencial de 0.034 bar
Intercambiadores de Calor de Tubo y Coraza & Serpentes de Tubo y Estampados (Presión Constante) (Presión Variable)	IB	DC o F&T	2
	F&T	DC o IBT (IBLV, a más de 2 bar)	< 1 bar: 2, a 0.034 bar; 1 - 2 bar: 2, a 0.14 bar > 2 bar: 3, a la mitad de la máxima presión diferencial

Datos mínimos de selección:

- Presión y contrapresión.
- Cantidad de condensado.
- Régimen.
- Ubicación.

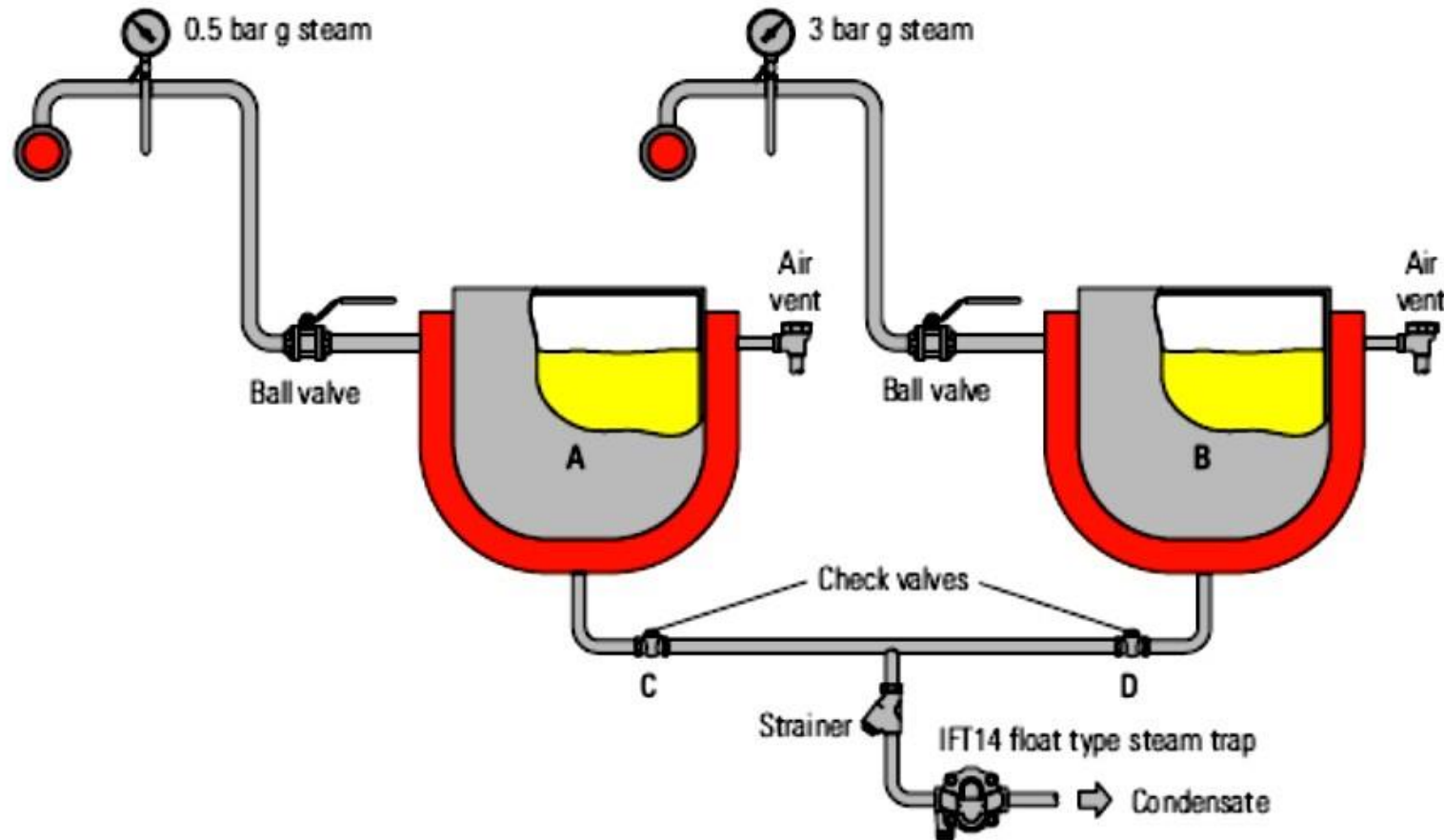
IBLV = Balde Invertido con Venteador Grande
 IBCV = Balde Invertido con Válvula Check Interna
 IBT = Balde Invertido con Venteador Térmico
 F&T = Flotador y Termostática
 DC = Controlador Diferencial de Condensado
 Thermo = Termostática

Use una IB con venteador de aire externo cuando se excedan las limitaciones de presión de la F&T, o si el vapor está sucio. Todos los factores de seguridad son para la presión diferencial de operación, al menos que se indique lo contrario.

Oportunidades de eficiencia energética

3. SELECCIONAR E INSTALAR BIEN TRAMPAS DE VAPOR

Evitar el uso de trampas de grupo. Usar una trampa por cada punto de drenaje.



Oportunidades de eficiencia energética

4. MONITOREAR PERIÓDICAMENTE TRAMPAS DE VAPOR

- Permite detectar fallas y tomar acciones.
- El nivel aceptable de trampas con falla es de 5%.

Métodos de monitoreo :

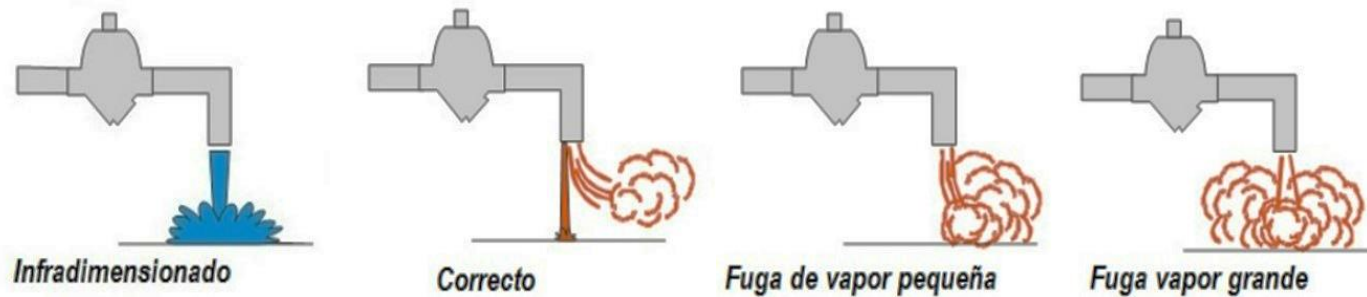
- Inspección de la descarga libre.
- Inspección por visores o detectores.
- Detección por diferencia de temperatura.
- Detección por ultrasonido.



Oportunidades de eficiencia energética

4. MONITOREAR PERIÓDICAMENTE TRAMPAS DE VAPOR

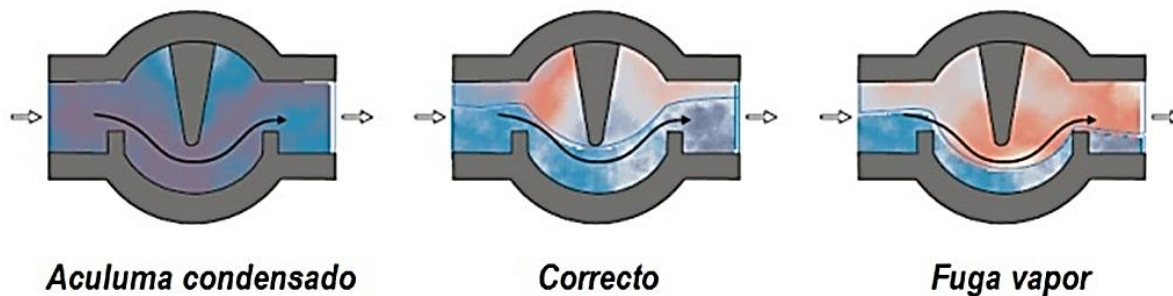
Inspección de la descarga



Detección por ultrasonido



Inspección por visores



Detección por diferencia de temperatura

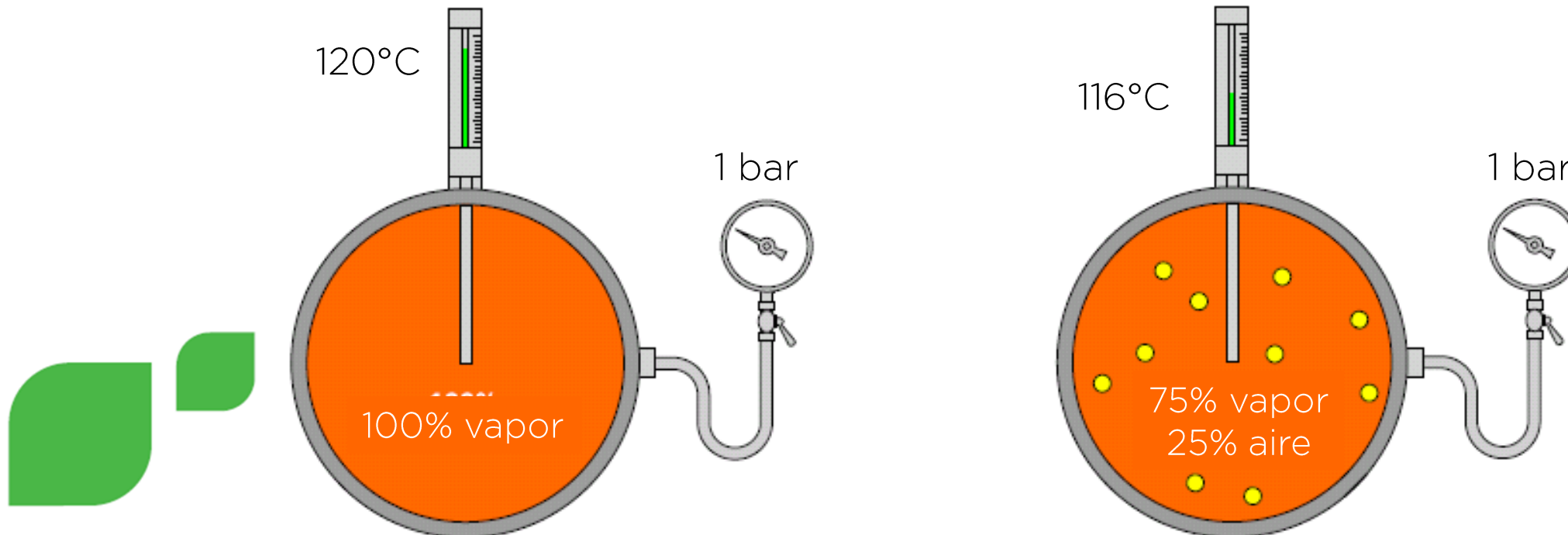


Oportunidades de eficiencia energética

5. ELIMINAR AIRE DE LÍNEAS Y EQUIPOS

Es importante eliminar el aire del vapor por:

- Reduce la temperatura del vapor.
- Reduce la transmisión de calor.
- Interfiere con la distribución de calor.
- Causa corrosión en los circuitos de condensado.
- Provoca mayor consumo de vapor.

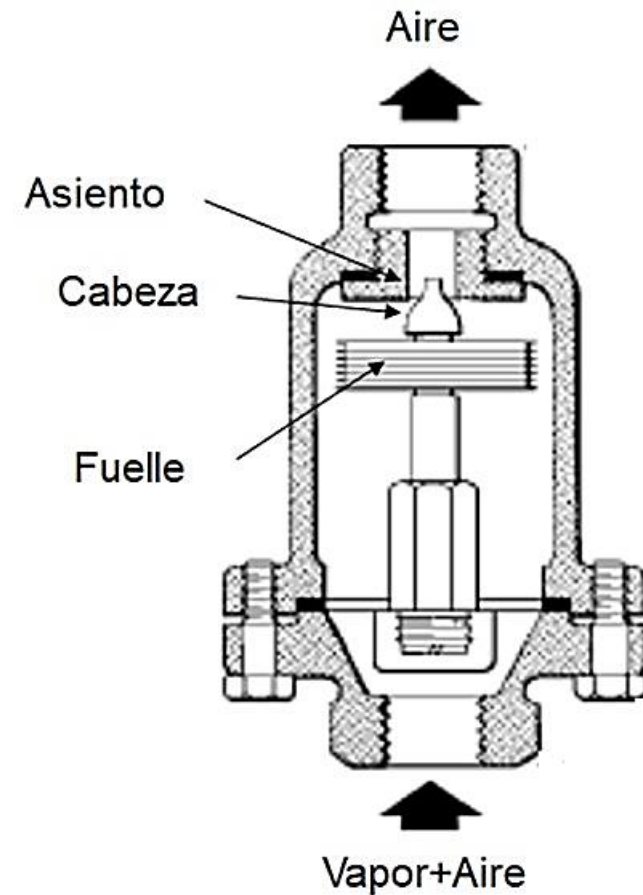


Oportunidades de eficiencia energética

5. ELIMINAR AIRE DE LÍNEAS Y EQUIPOS

Venteo de Aire:

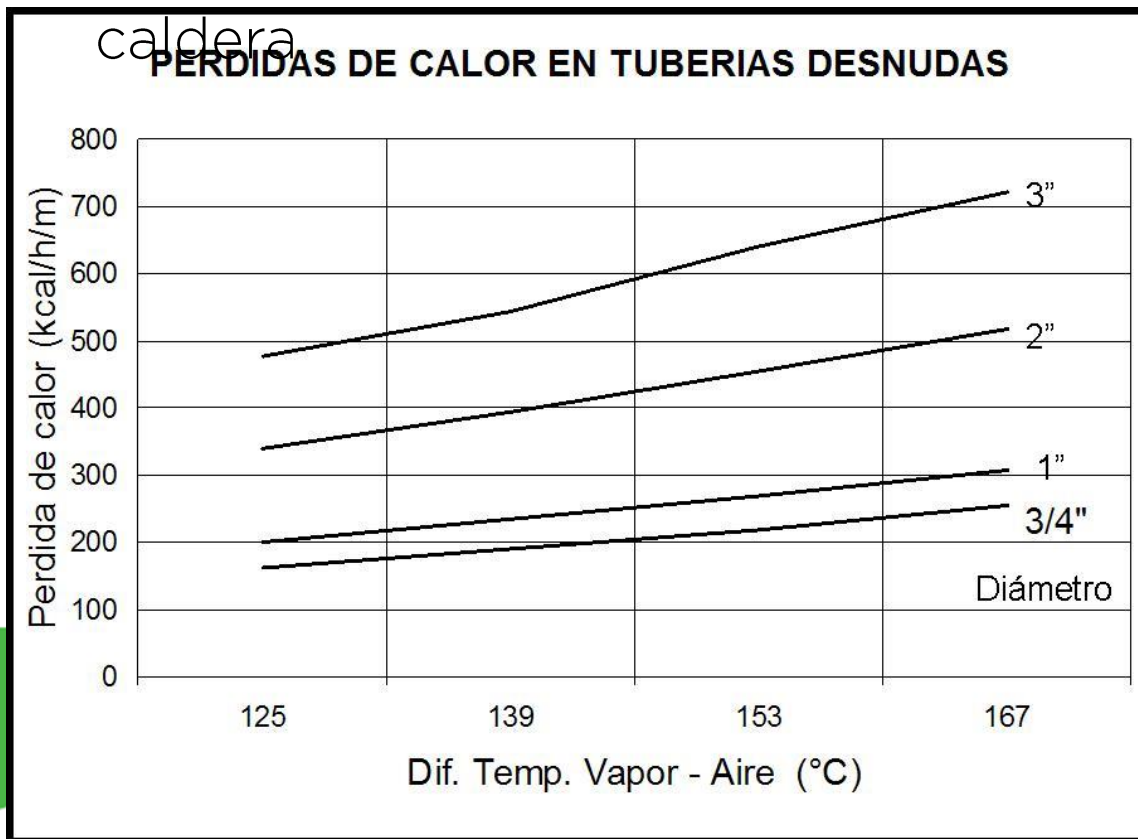
- Elimina el aire que se introduce en el sistema de vapor en las paradas por el vacío provocado por la condensación.
- Eliminar el aire es importante porque reduce la temperatura del vapor en los equipos!



Oportunidades de eficiencia energética

6. AISLAR TUBERÍAS DE VAPOR Y CONDENSADO

- Las tuberías sin aislar emiten calor del vapor circulante, y se condensa en parte.
- Para compensar las pérdidas tiene que consumirse más combustible en la caldera.



Oportunidades de eficiencia energética

6. AISLAR TUBERÍAS DE VAPOR Y CONDENSADO

Aislar tuberías de vapor, condensado, accesorios y recipientes:

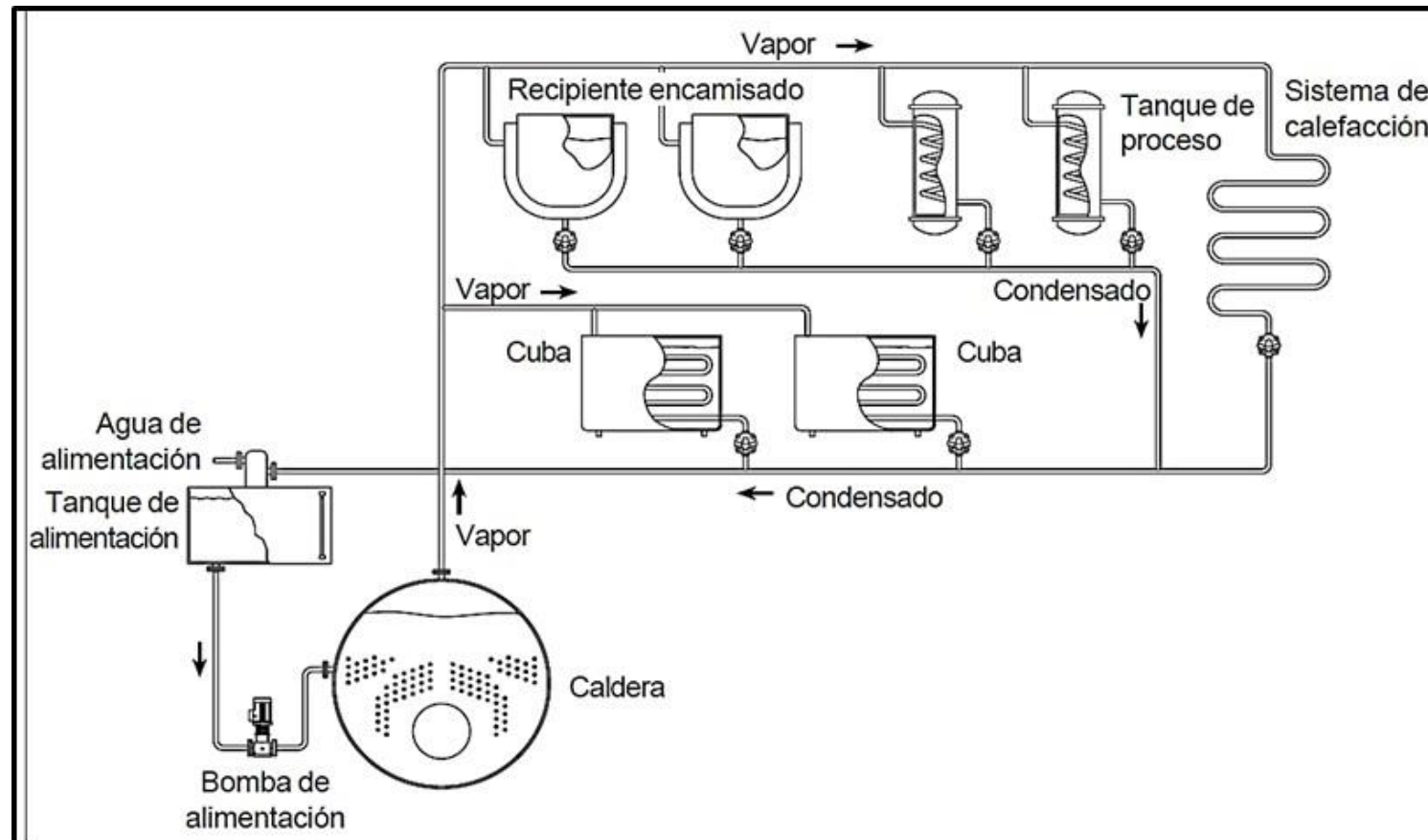
- Mantiene la energía del vapor dentro del sistema.
- Reduce las fluctuaciones de temperatura en el sistema.
- Previene quemaduras en el personal (Temp. Sup. < 60°C).
- Usar el tipo y espesor óptimo de aislamiento.
- ✓ Temperatura superficie máximo 40 °C.
- ✓ Eficiencia aislamiento: 90% mínimo

Material aislamiento	Cubierta
Lana de vidrio preformado en medias cañas. Densidad de 64 a 96 kg/m ³ . Temperatura de hasta 232 °C. Conforme ASTM C547.	Acero inoxidable 304-2B, de 1/40" de espesor.

Oportunidades de eficiencia energética

7. RECUPERAR CONDENSADO

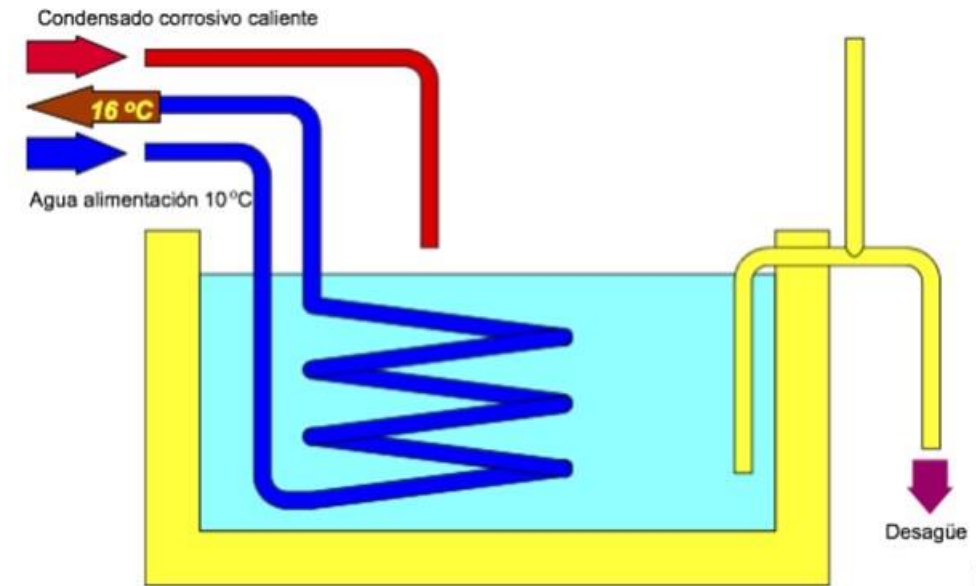
- El condensado proviene del vapor que ha cedido su calor latente en el equipo de calentamiento.



Oportunidades de eficiencia energética

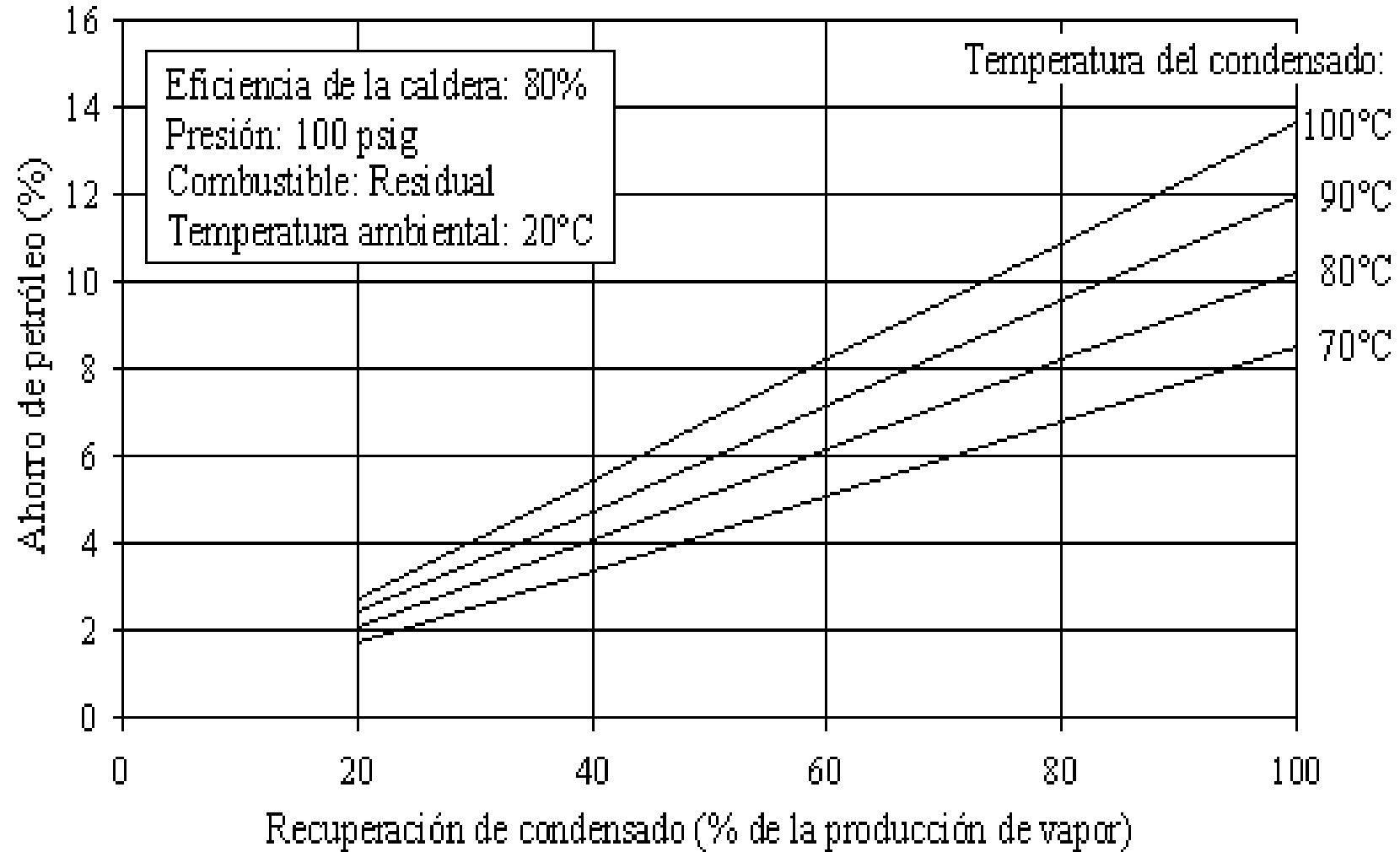
7. RECUPERAR CONDENSADO

- Reduce el consumo de combustible en la caldera.
- Reduce el régimen de purga.
- Ahorra aditivos químicos.
- Si no es posible retornar el condensado, recuperar su calor.



Oportunidades de eficiencia energética

7. RECUPERAR CONDENSADO



Oportunidades de eficiencia energética

8. RECUPERAR VAPOR FLASH

- El vapor flash se produce cuando un condensado pasa de una presión dada a otra menor.
- Tiene las mismas características que el vapor de caldera.

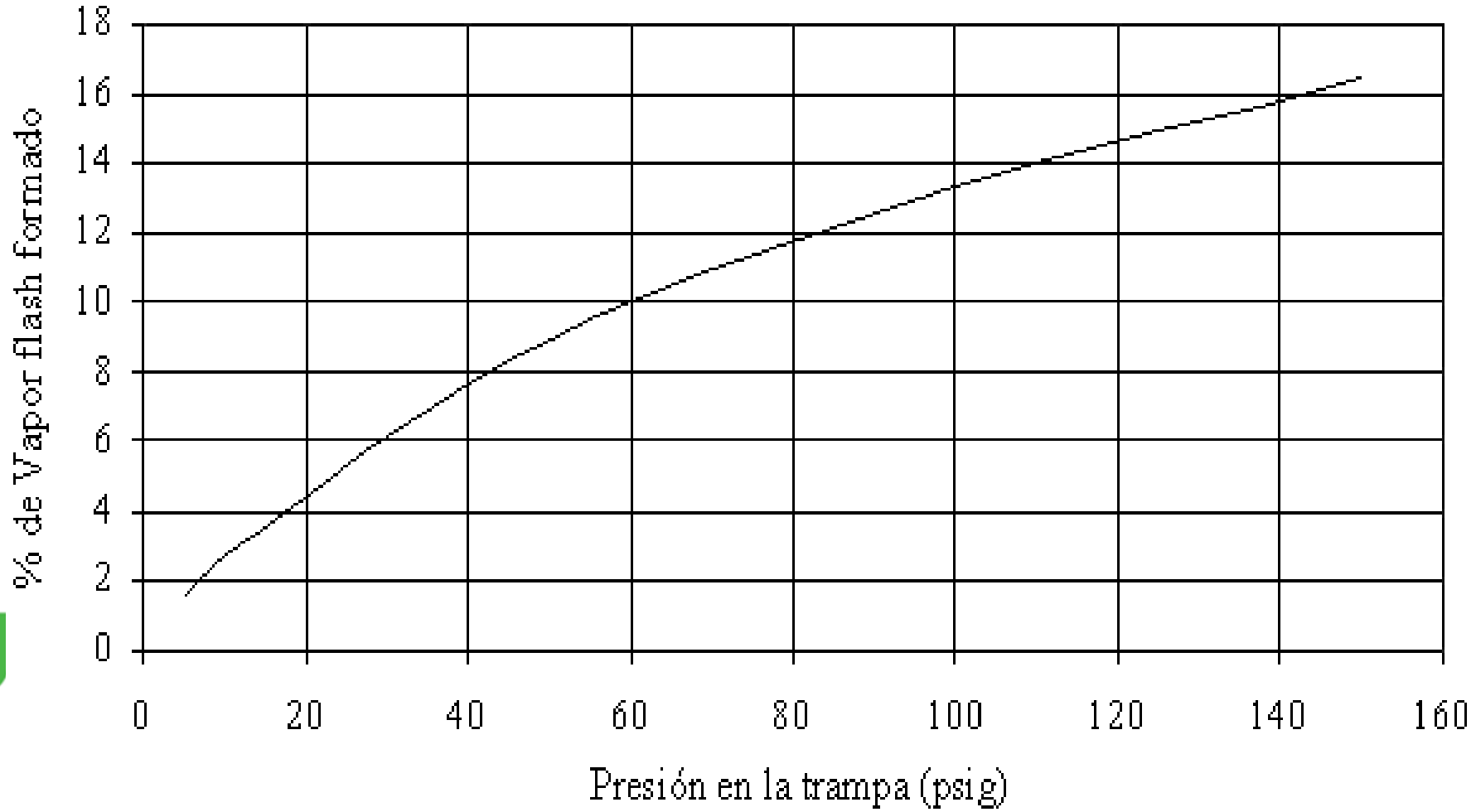
La cantidad de vapor flash que se produce es :

$$\text{Vapor Flash (\%)} = \frac{(\text{Hs cond. Palta} - \text{Hs cond. Pbaja}) \times 100}{\text{Hlat a Pbaja}}$$



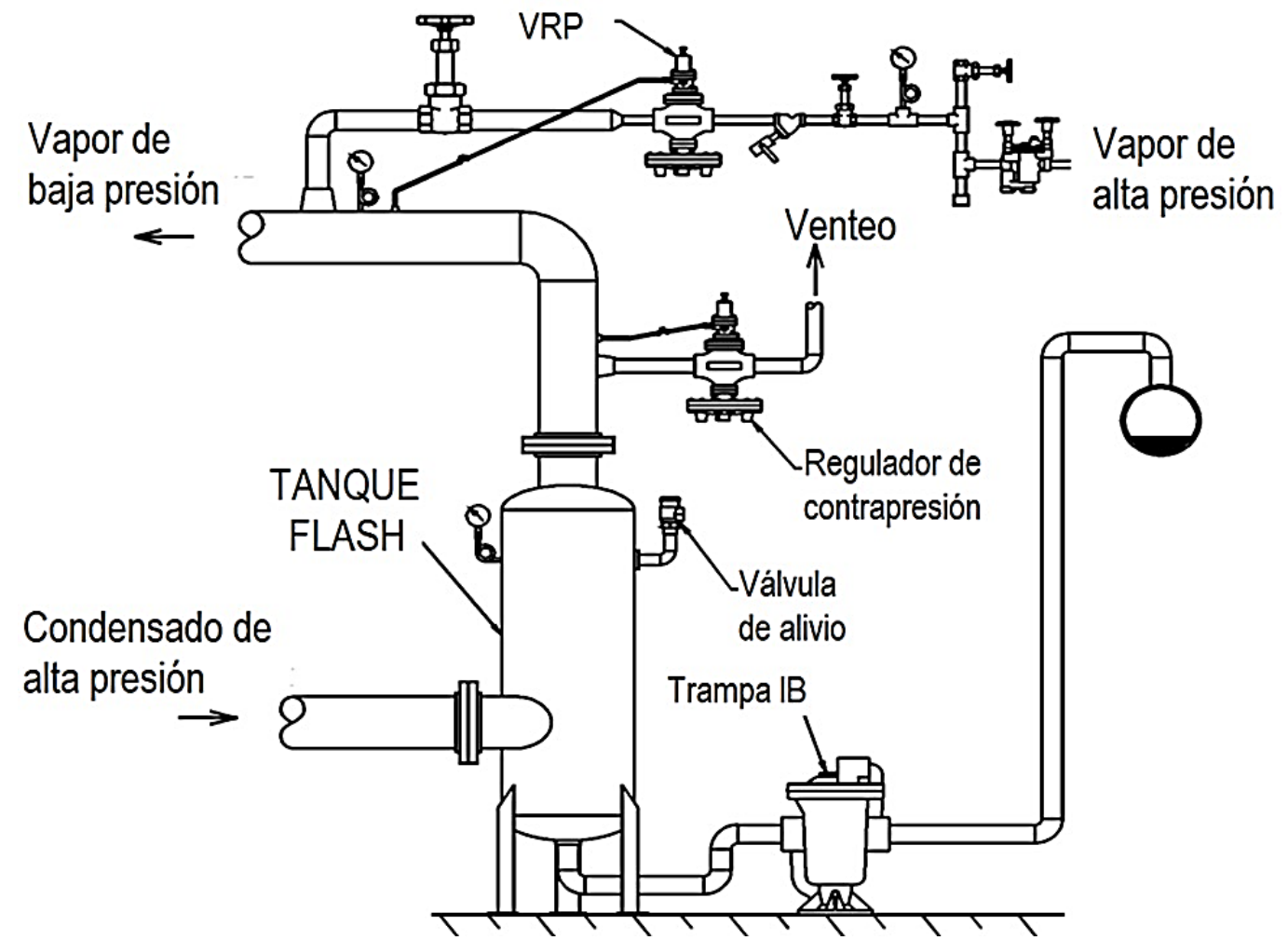
Oportunidades de eficiencia energética

8. RECUPERAR VAPOR FLASH



Oportunidades de eficiencia energética

8. RECUPERAR VAPOR FLASH

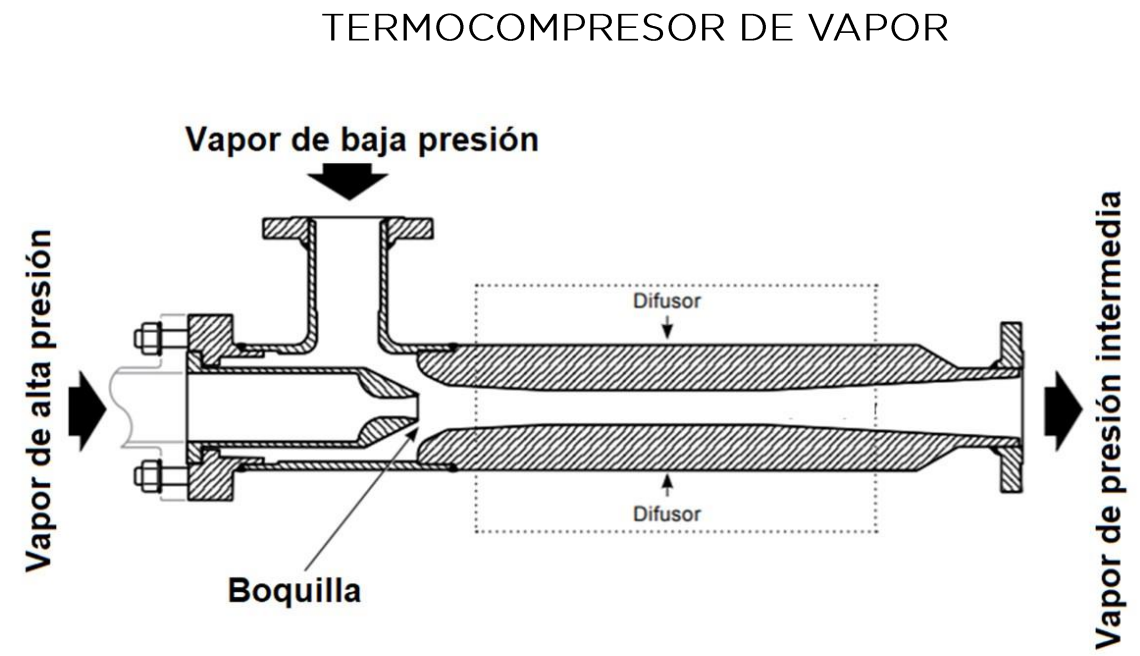
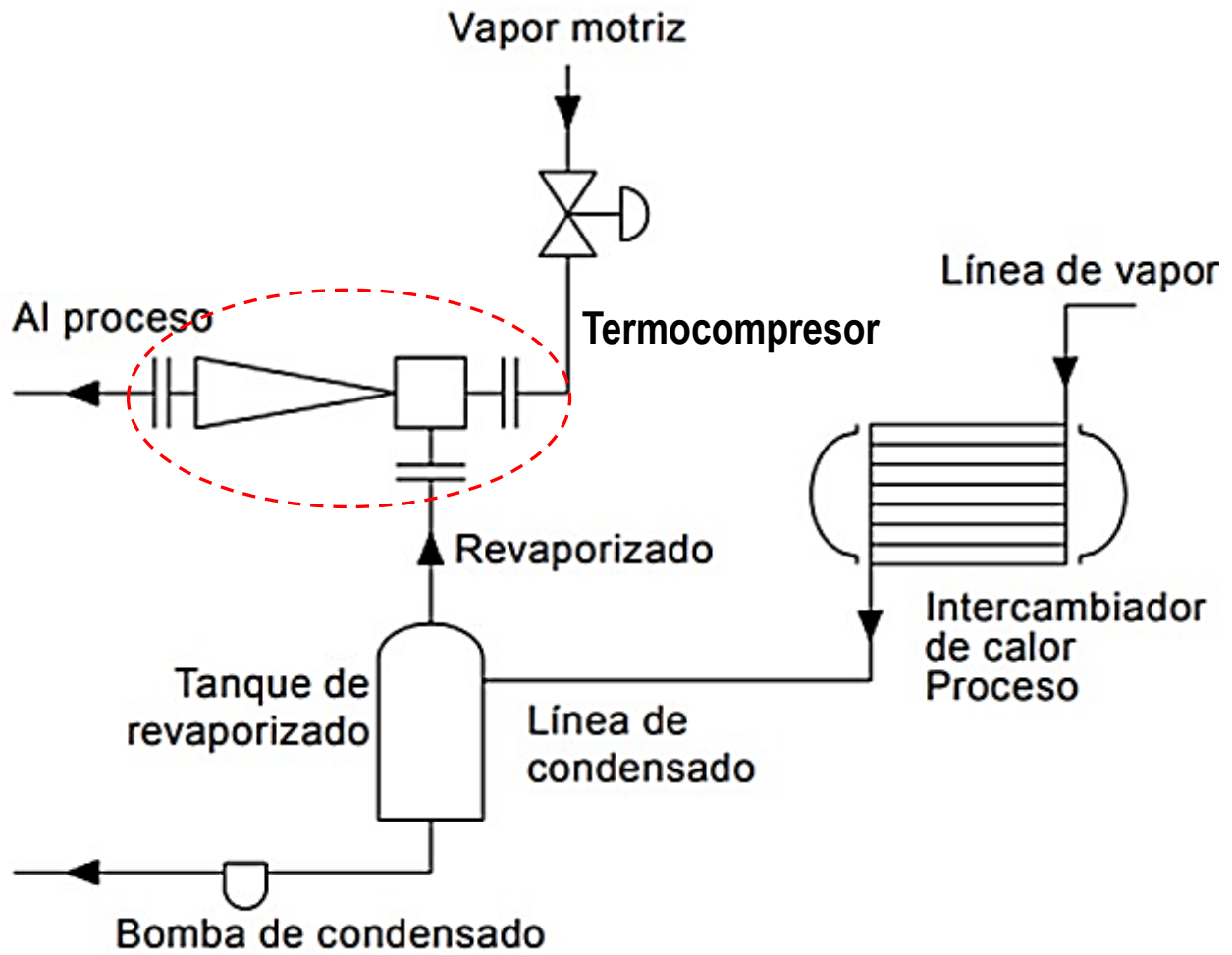


RECUPERACIÓN DE VAPOR FLASH EN TANQUE



Oportunidades de eficiencia energética

8. RECUPERAR VAPOR FLASH



Oportunidades de eficiencia energética

9. OPERAR EQUIPOS A LA MENOR PRESIÓN POSIBLE

Operando los equipos usuarios de vapor a la menor presión posible se aprovecha mayor calor latente.

Presión (psig)	Temperatura (°C)	Calor latente (kcal/kg)
100	170	489.3
75	160	497.6
50	148	507.1
25	131	519.3

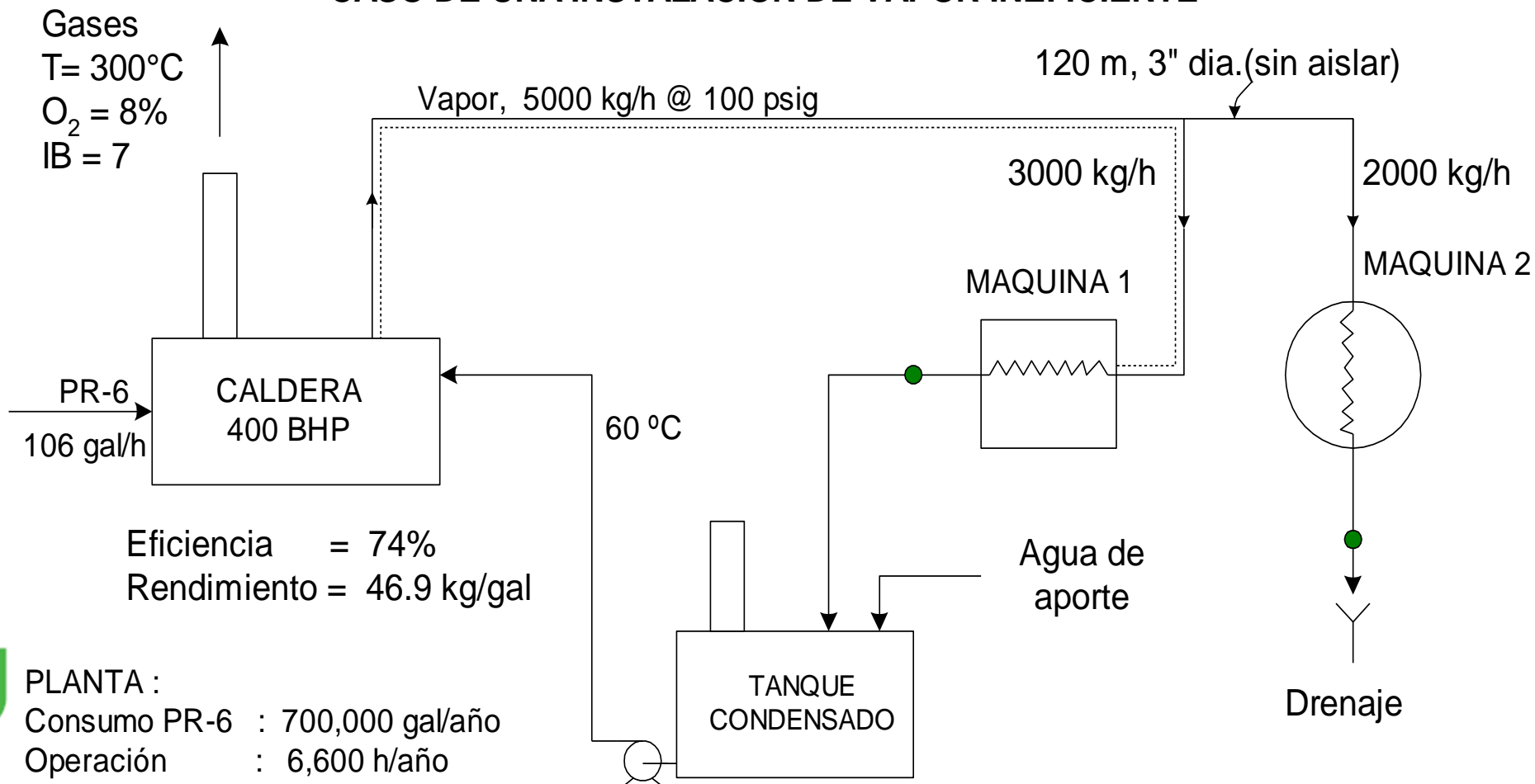


La presión mínima dependerá de la temperatura requerida por el proceso.

CASO PRACTICO DE EFICIENCIA EN SISTEMA DE VAPOR

CASO: SISTEMA DE VAPOR INEFICIENTE

CASO DE UNA INSTALACION DE VAPOR INEFICIENTE



CASO: SISTEMA DE VAPOR INEFICIENTE

RESULTADOS

SITUACION ENCONTRADA	MEJORAS PROPUESTAS	AHORRO US\$AÑO	INVERSION US\$	RET. INVER.
1. Ineficiencia en caldera	<ul style="list-style-type: none"> - Limpieza tubos - Mantenimiento sistema combustión - Reducción del exceso de aire 	52920	4800	1 mes
2. Recuperación parcial de condensado	<ul style="list-style-type: none"> - Recuperación total de condensado 	21970	4480	2.4 meses
3. Falta de aislamiento en línea hacia Máquina 2	<ul style="list-style-type: none"> - Aislamiento de línea hacia Máquina 2 	12200	5190	5 meses



Muchas gracias.

**Unidad de Gestión del
Proyecto**



Zonas Industriales Sostenibles