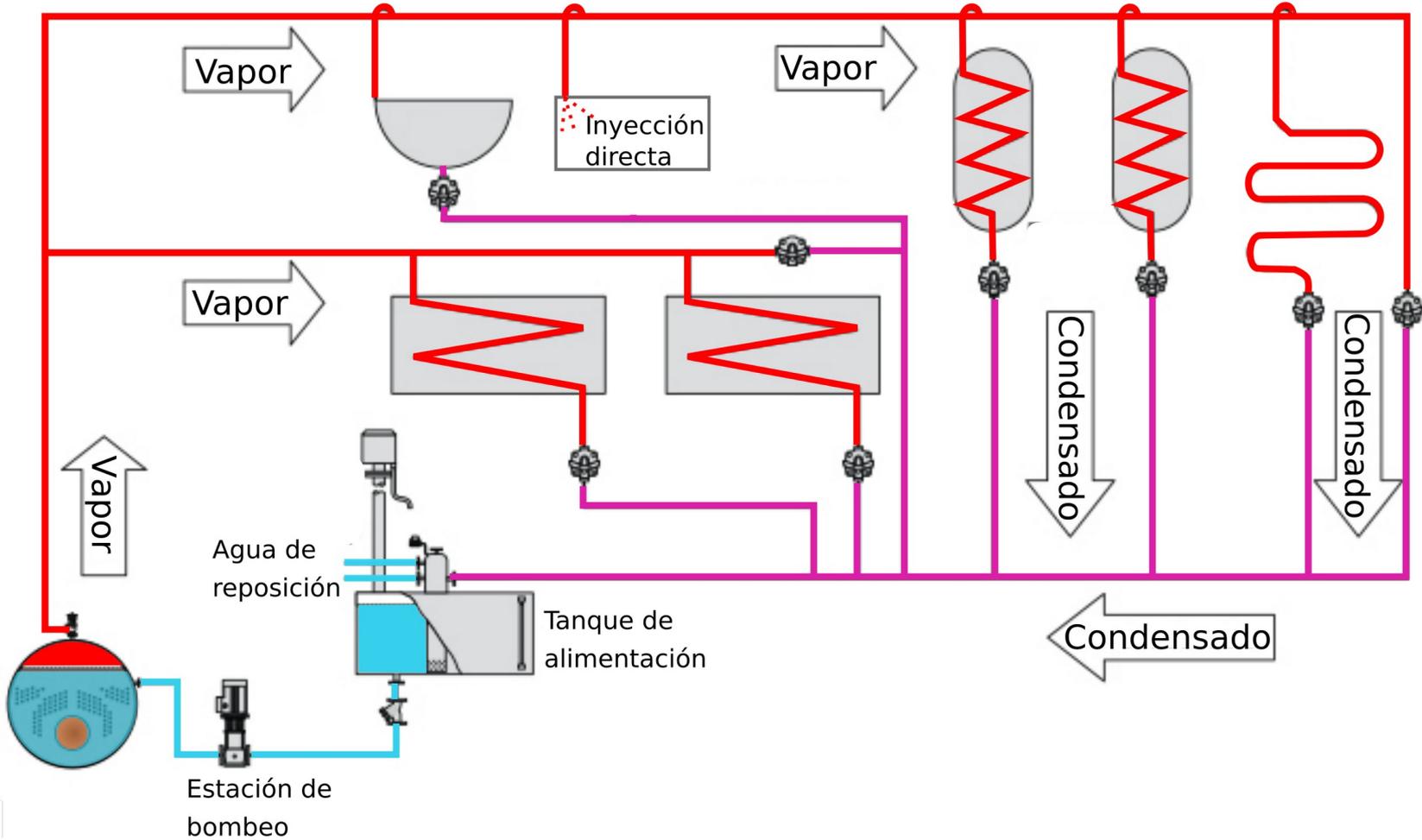


Sistemas de alimentación de agua, de distribución de vapor y de retorno de condensado

Circulación agua-vapor-condensado – Diagrama básico



Sistema de alimentación de agua

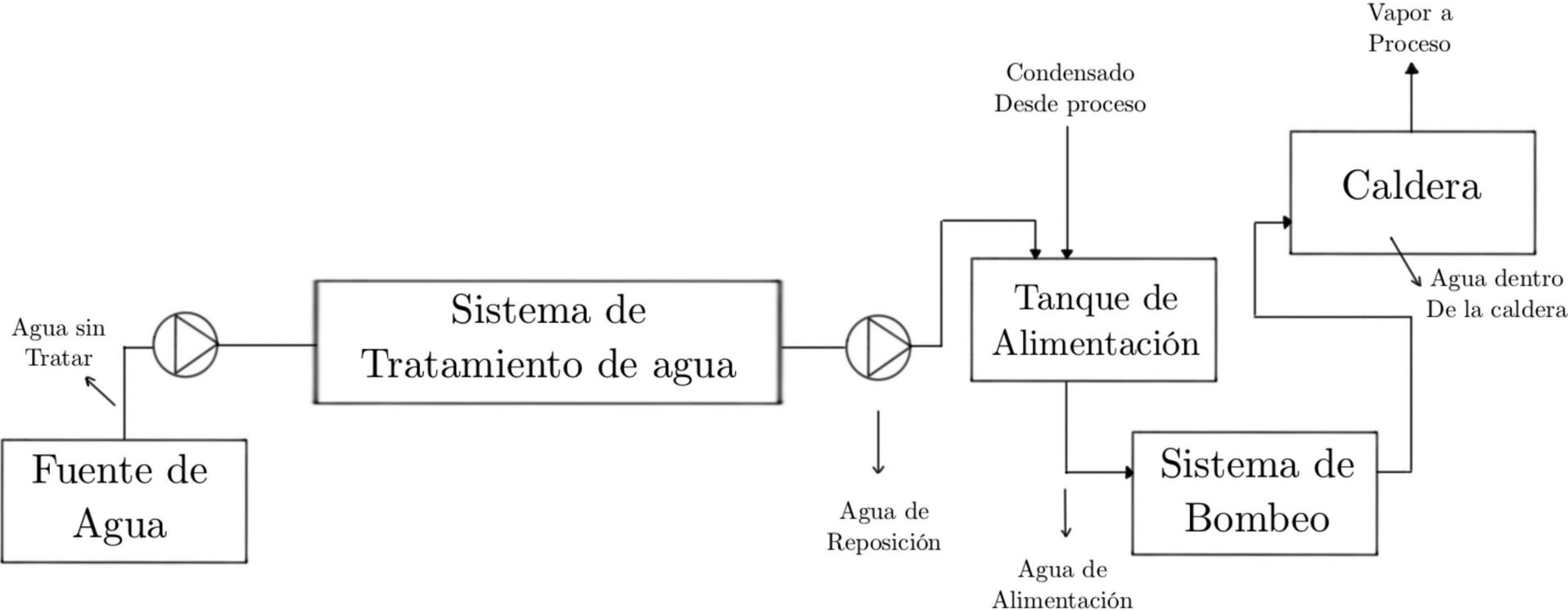
El agua dentro de la caldera tiene dos **funciones principales**:

- 1) Es la **materia prima** para generar vapor.
- 2) Tiene un **efecto refrigerante** sobre las superficies metálicas expuestas al calor.

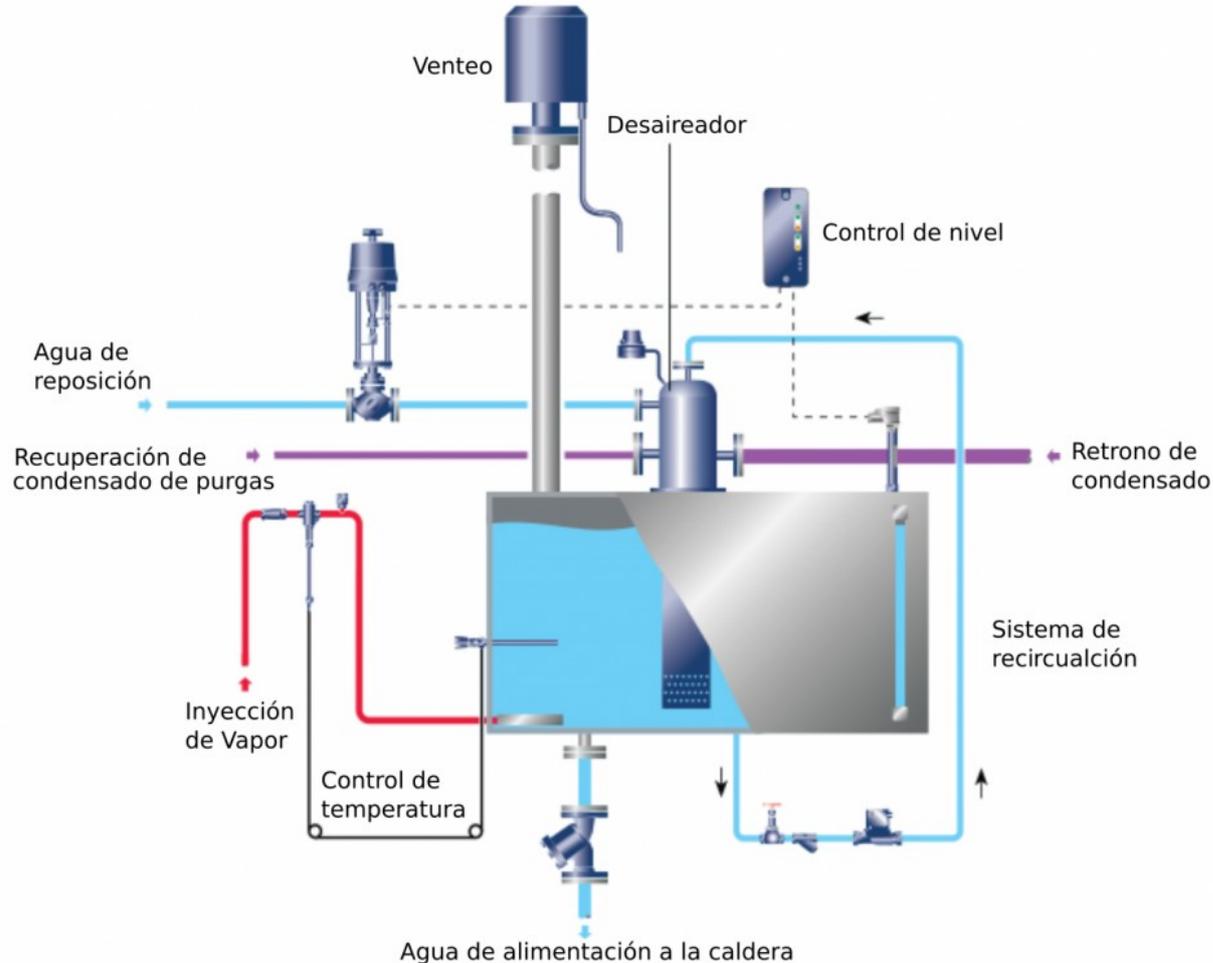
Por este motivo es fundamental asegurar:

- a) El **nivel mínimo** de seguridad del agua dentro de la caldera (es el que cubre las superficies metálicas)
- b) La **correcta circulación del agua** dentro de la caldera. Si esta circulación se interrumpe por algún motivo podemos tener problemas de sobrecalentamiento en alguna superficie metálica.

Sistema de alimentación de agua



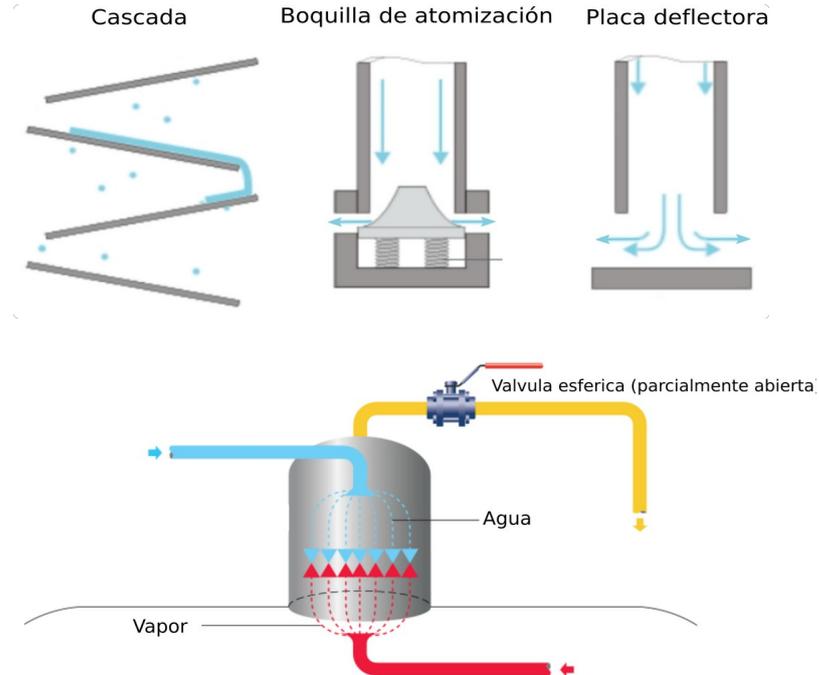
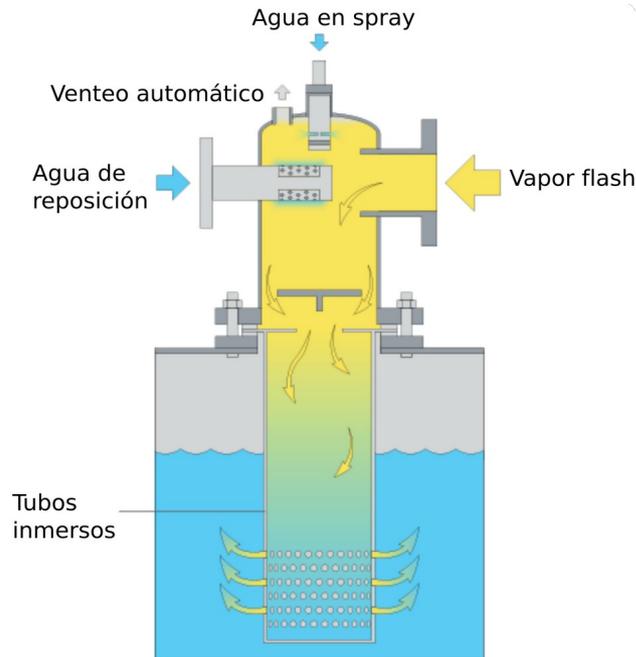
Sistema de alimentación de agua -Tanque de alimentación



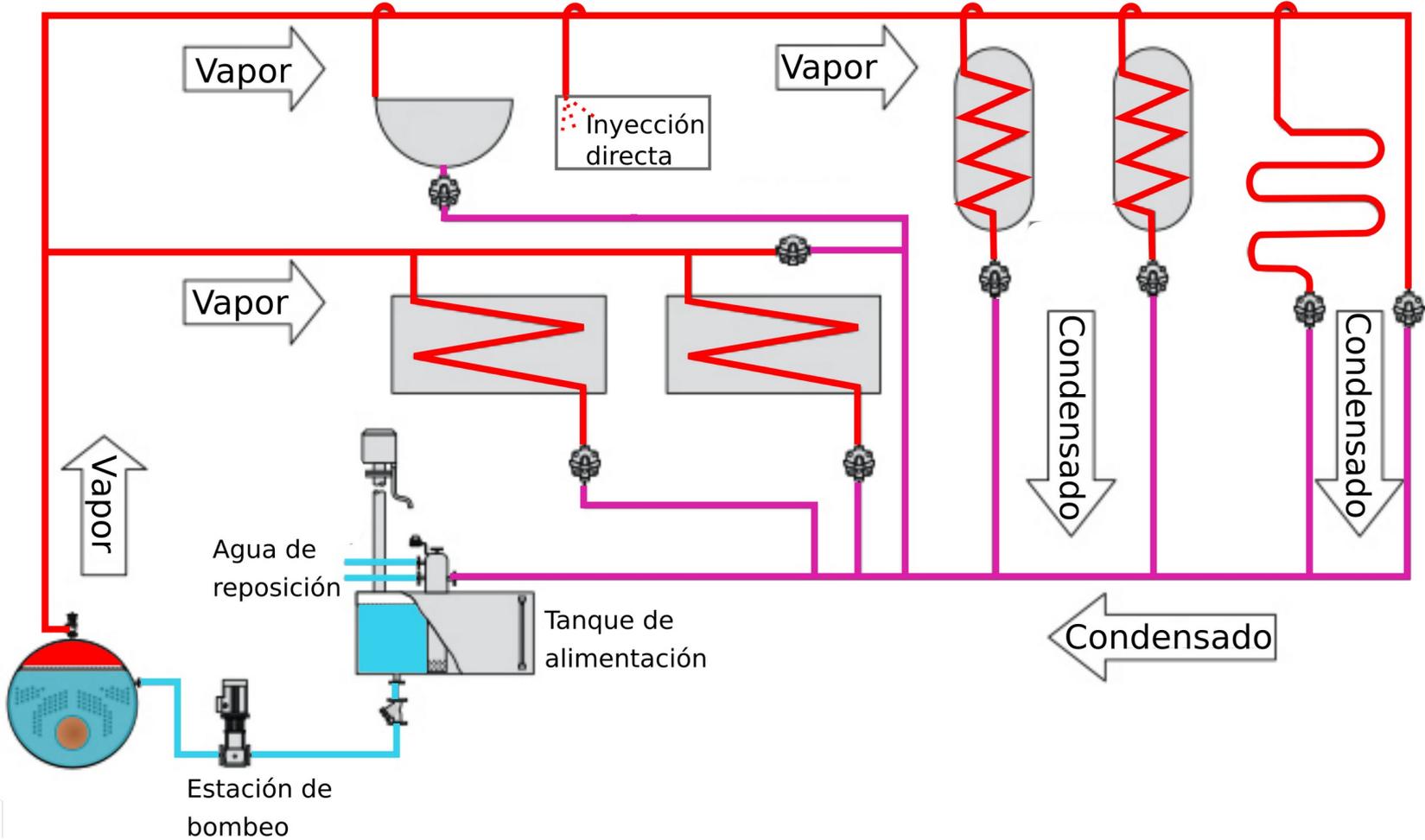
- **Mantener a cierta temperatura** (85°C a 90°C) para minimizar el contenido de oxígeno y otros gases disueltos, evitar choques térmicos, y mantener una temperatura de ingreso a la caldera constante.
- Suele estar **elevado** para evitar la cavitación en las bombas de alimentación debida a las altas temperaturas.
- **Desaireador** para reducir contenido de CO₂ y O₂ disuelto (evitar corrosión).
- Agregado de **aditivos**.

Sistema de alimentación de agua -Desaireador

- Reducir contenido de CO_2 y O_2 disuelto → Evitar acidificación del agua (disminución del pH) → Disminuir la tasa de corrosión (principalmente por pitting).
- Se basan en que la solubilidad de los gases en agua desciende con el aumento de la temperatura.
- Complementado con aditivos químicos (sulfato de sodio, hidrazina, ect.) .

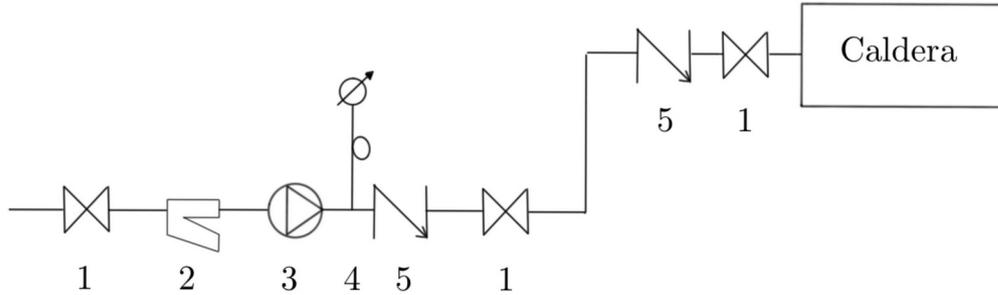


Circulación agua-vapor-condensado – Diagrama básico



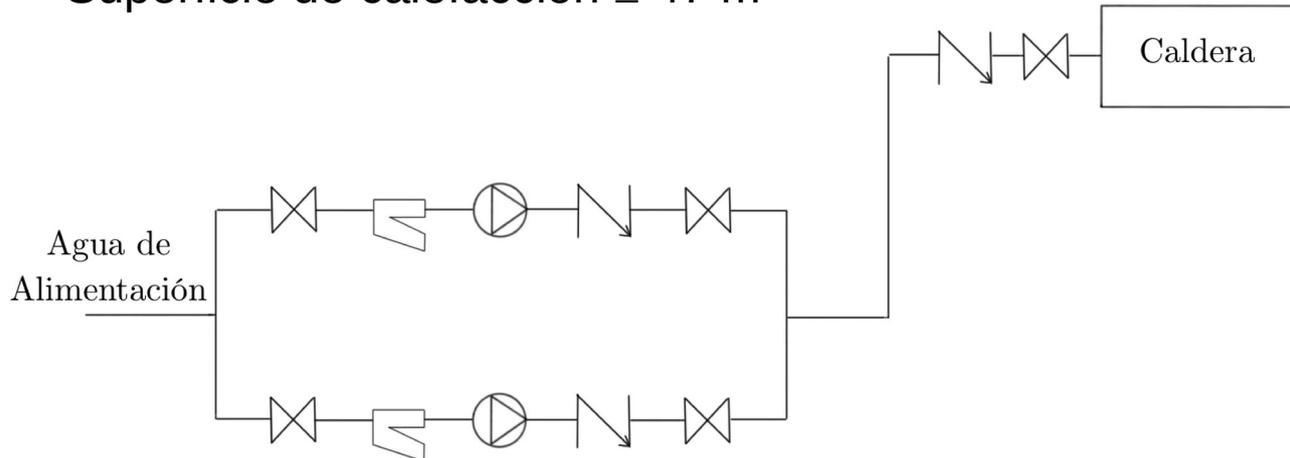
Sistema de alimentación de agua -Sistema de bombeo

Superficie de calefacción $< 47 \text{ m}^2$



1. Válvula de corte manual.
2. Filtro.
3. Bomba multietapa (debido a la alta presión).
4. Manómetro
5. Válvula de retención.

Superficie de calefacción $\geq 47 \text{ m}^2$



Sistema de alimentación de agua – Reglamento URSEA

Titulo II. Alimentación de agua

Artículo 67: Los Generadores de Vapor deben contar con al menos un **medio de alimentación de agua** si la superficie de calefacción es menor a (47) cuarenta y siete m², y contar con al menos dos si la superficie de calefacción es igual o mayor a (47) cuarenta y siete m².

El medio de alimentación de agua deberá ser capaz de suministrar un volumen suficiente de agua según lo establecido por el fabricante del Generador de Vapor, con el fin de prevenir daños al mismo cuando todas las Válvulas de Seguridad se encuentren descargando a plena capacidad.

Artículo 68 - El medio de alimentación de agua deberá ser capaz de generar una **presión del 6%** (a caudal cero) por encima de la presión de apertura total de la válvula de seguridad regulada a mayor presión.

Artículo 69 - A la descarga de cada bomba de agua de alimentación y antes de cualquier accesorio, se deberá contar con un **manómetro**.

Artículo 70 - La tubería de agua de alimentación deberá estar provista de una **válvula de retención** próxima al Generador de Vapor y una **válvula de cierre** entre el mismo y la válvula de retención.

Sistema de alimentación de agua – Reglamento URSEA

Titulo II. Alimentación de agua

Artículo 71 - Cuando dos o más Generadores de Vapor son conectados a un mismo sistema de distribución de alimentación, cada uno de ellos deberá tener una válvula de globo o reguladora en su ramificación, localizada entre la válvula de retención y el medio de alimentación de agua.

Artículo 72 - Para el caso de generadores de vapor equipados con economizadores, las válvulas de cierre y de retención deberán estar colocadas a la entrada del economizador.

Artículo 73 (actualizado 101/021): Los generadores de vapor alimentados con **combustibles sólidos** que no están en suspensión y para generadores de vapor cuyo ajuste o fuente de calor puede continuar suministrando suficiente calor como para dañarlo si se interrumpe el suministro de agua, **deben contar con dos medios de alimentación**, y uno de ellos no debe ser susceptible a la misma interrupción que el otro, suministrando cada uno de ellos suficiente agua para impedir daños al generador de vapor.

El estado general y operacional del medio alternativo de alimentación de agua debe ser verificado periódicamente, de acuerdo a lo establecido en el artículo 142.

Sistema de distribución de vapor

Razones para usar vapor:

- Capacidad grande de transportar energía (entalpía latente).
- Fácil de transportar, el motor que lo mueve es la diferencia de presiones.
- Permite utilizar ciclos cerrados, reutilizando el agua.
- El vapor saturado asegura temperaturas constantes mientras condensa.

Desventajas:

- Es un fluido a presión y temperatura (ej: vapor saturado a 7bar, 160°C aprox.)
- Se precisan líneas de distribución y retorno adecuadas.

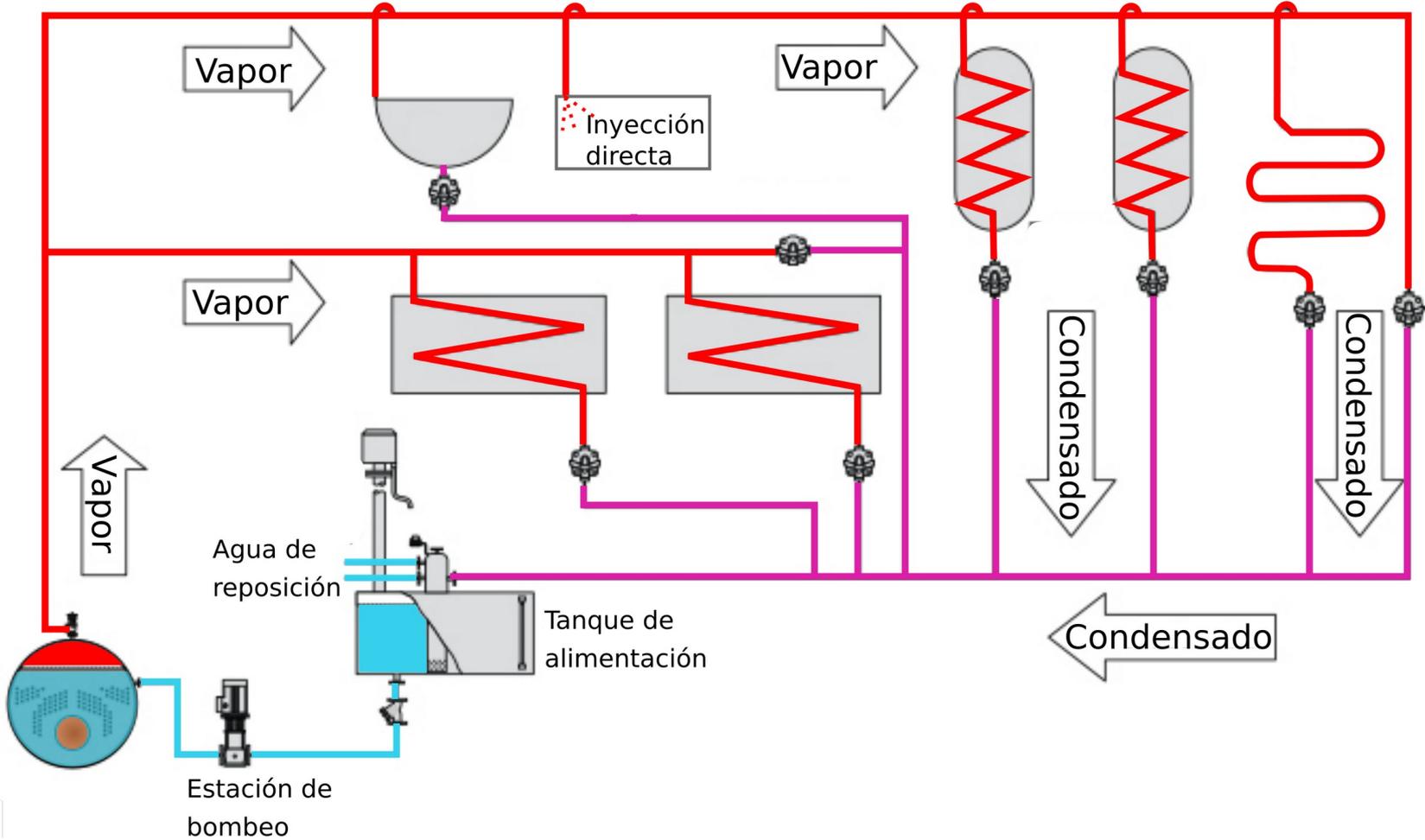
Sistema de distribución de vapor

La red de distribución de vapor es la vía de comunicación entre las calderas y los equipos.

Consideraciones para el diseño de los sistemas de distribución de vapor:

- Condiciones de caudal y presión requeridas.
- El **flujo de vapor** es inducido por el aumento de la densidad debido a la condensación del mismo.
- Minimizar pérdidas de calor (buena **aislación**). Siempre se forma condensado que debe purgarse en los puntos bajos de la tubería de distribución.
- Condensado formado en la **puesta en marcha** debido a que las tuberías se encuentran frías.

Circulación agua-vapor-condensado – Diagrama básico



Sistema de distribución de vapor - Presión del vapor

Es más conveniente distribuir a **alta presión** y reducir la presión en un punto cercano al consumo, con el fin de que se ajuste a lo que la aplicación requiere. Distribuir a alta presión implica cañerías y accesorios más chicos, menor cantidad de aislación para evitar pérdidas de calor al exterior en la distribución y llegar con un vapor de mejor “calidad” al punto de consumo.

Si bien al trabajar a mayor presión estos elementos deben ser más resistentes (más material), el costo final de la instalación de menor diámetro es menor.

La **presión de trabajo** del Generador de Vapor está determinado por la **mayor presión necesaria en el sistema**, luego se irá reduciendo en los distintos ramales de acuerdo a los niveles de presión de trabajo de los diferentes procesos.

Se debe tener en cuenta las **caídas de presión** por pérdida de carga

Sistema de distribución de vapor – Dimensionado de tuberías de vapor

Las tuberías deben tener un **diámetro adecuado** para la cantidad de vapor que deben transportar. **No** guiarse por el diámetro de salida del equipo.

Sobredimensionar:

- Tuberías más caras.
- Mayores pérdidas de calor, más condensado. La calidad del vapor será más pobre.

Subdimensionar:

- Mayores caídas de presión por aumento de velocidad.
- El volumen de vapor será insuficiente en el punto de utilización.
- Mayor riesgo de erosión, golpe de ariete y ruidos (a causa del aumento de velocidad).

Sistema de distribución de vapor – Dimensionado de tuberías de vapor

Las tuberías se pueden seleccionar basándose en una de las dos características:

- Velocidad del fluido.
- Caída de presión.

El criterio de velocidad se usa en tuberías cortas, menos de 50m aprox. En el resto se calcula por caída de presión.

Se debe determinar el **diámetro interno**. Este varía en función del espesor de la cañería, de acuerdo a la presión que debe soportar. La **Schedule** (o cédula) es la relación entre el espesor y el diámetro de la cañería.

PIPE SCHEDULES & WEIGHTS					
NOMINAL PIPE SIZE	OUTSIDE DIAMETER	SCHEDULE 40		SCHEDULE 80	
		Wall Thick.	Wt. Per Ft.	Wall Thick.	Weight Per Ft.
1/8	0.405	0.068	0.245	0.095	0.315
1/4	0.540	0.088	0.425	0.119	0.535
3/8	0.675	0.091	0.568	0.126	0.739
1/2	0.840	0.109	0.851	0.147	1.088
3/4	1.050	0.113	1.131	0.154	1.474
1	1.315	0.133	1.679	0.179	2.172
1-1/4	1.660	0.140	2.273	0.191	2.997
1-1/2	1.900	0.145	2.718	0.200	3.631
2	2.375	0.154	3.653	0.218	5.022
2-1/2	2.875	0.203	5.793	0.275	7.661

Sistema de distribución de vapor – Dimensionado de tuberías de vapor

Dimensionamiento por velocidad:

- Vapor saturado: de 25 a 40 m/s (usualmente 25m/s)
- Longitudes considerables: 15m/s para evitar grandes caídas de presión.
- Vapor sobrecalentado 50 a 70m/s.

Métodos de cálculo

a) Mediante la expresión $v = \frac{4Q}{\pi \phi^2}$

b) Usando programa de cálculo.

c) Por medio de gráficas de cálculo (ábacos).

Sistema de distribución de vapor – Dimensionado de tuberías de vapor

Ejemplo:

- Vapor saturado.
- Presión de entrada: 7bar_g .
- Flujo de vapor: 5000kg/h .
- Velocidad máx.: 25m/s .

Gráfica:

- A) Vapor saturado a 7bar_g .
- B) Línea horizontal hasta cortar con flujo de vapor.
- C) Línea vertical hasta cortar con velocidad.
- D) Línea horizontal hasta eje de diámetros

Sistema de distribución de vapor – Dimensionado de tuberías de vapor

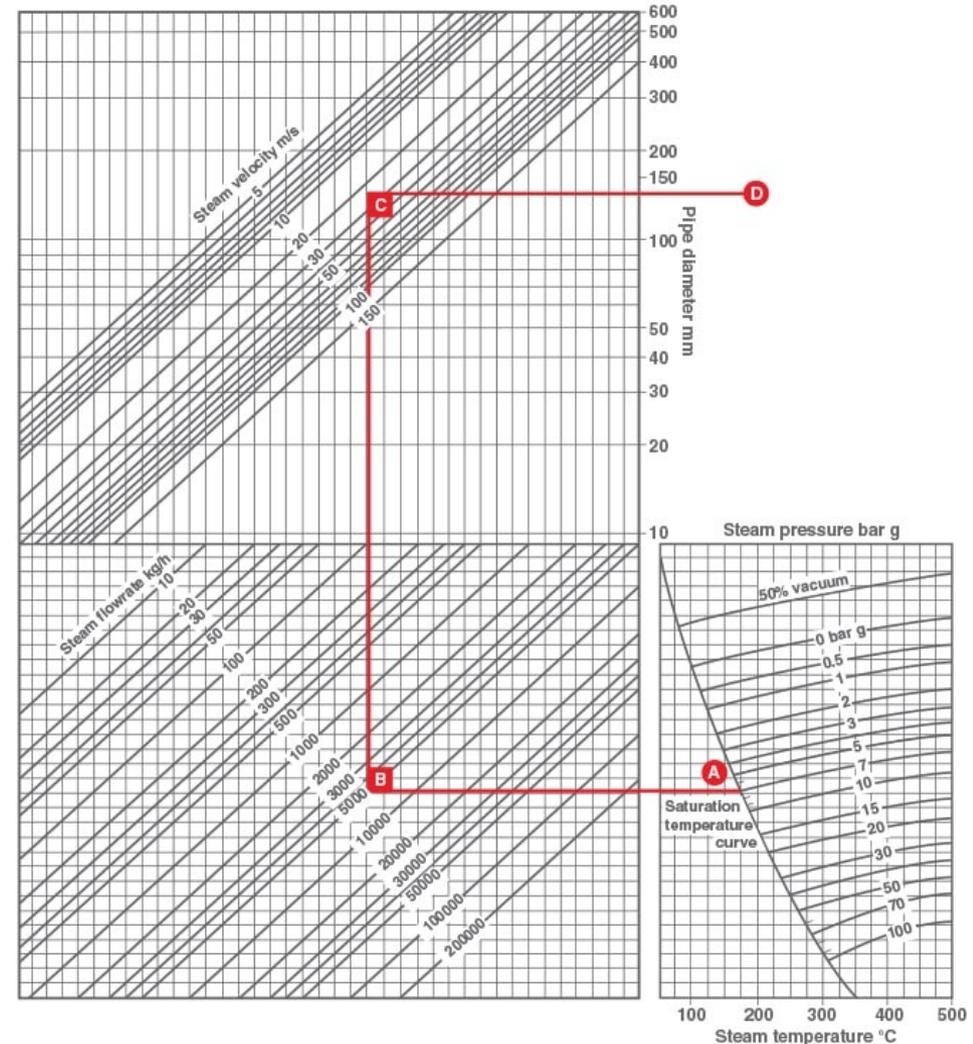
Ejemplo:

- Vapor saturado.
- Presión de entrada: 7bar_g.
- Flujo de vapor: 5000kg/h.
- Velocidad máx.:25m/s.

Ábaco:

- A)Vapor saturado a 7bar_g.
- B)Linea horizontal hasta cortar con flujo de vapor.
- C)Línea vertical hasta cortar con velocidad.
- D)Línea horizontal hasta eje de diámetros

Solución: 150mm.



Sistema de distribución de vapor – Dimensionado de tuberías de vapor

Diseño por caída de presión

Se utiliza para cañerías medianas y largas, limitando la pérdida de presión que se produce en ella.

Debemos conocer la presión inicial del tramo y la presión final. En caso que esta no se conozca se puede tomar una caída de presión del 10% aproximadamente en el tramo.

- a) El cálculo se puede realizar utilizando fórmulas apropiadas, lo que implica la determinación del coeficiente de fricción (fórmulas de Fannig, Darcy, etc)
- b) También hay programas de cálculo
- c) Con ábacos

Diseño por caída de presión

Se debe usar para el cálculo la “**longitud equivalente**”, que es el largo real de la cañería aumentado con una longitud ficticia que contempla las pérdidas de carga que agregan los accesorios.

Si no se conoce en detalle cuales y cuantos son estos accesorios se puede utilizar el siguiente criterio:

- a) Largo menor a 50m, agregar un 10% a 20%.
- b) Largo entre 50m y 100m, agregar 10%.
- c) Largo mayor a 100m, relativamente rectos, agregar de 5% a 10%
- d) Largo mayor a 50m, pero con gran cantidad de accesorios, agregar un 20%.

Sistema de distribución de vapor – Dimensionado de tuberías de vapor

Ejemplo:

- Vapor saturado.
- Presión de entrada: 7bar_g .
- Presión de salida: $6,6\text{bar}_g$.
- Flujo de vapor: 270kg/h .
- $L_{eq}=150*1,1=165\text{m}$

Gráfica:

- i. Vapor saturado a 7bar_g (A).
- ii. Línea horizontal hasta cortar con flujo de vapor (B).
- iii. Línea vertical (B-C)
- iv. Línea horizontal a la caída de presión (DE).
- v. Solución, intersección BC-DE.

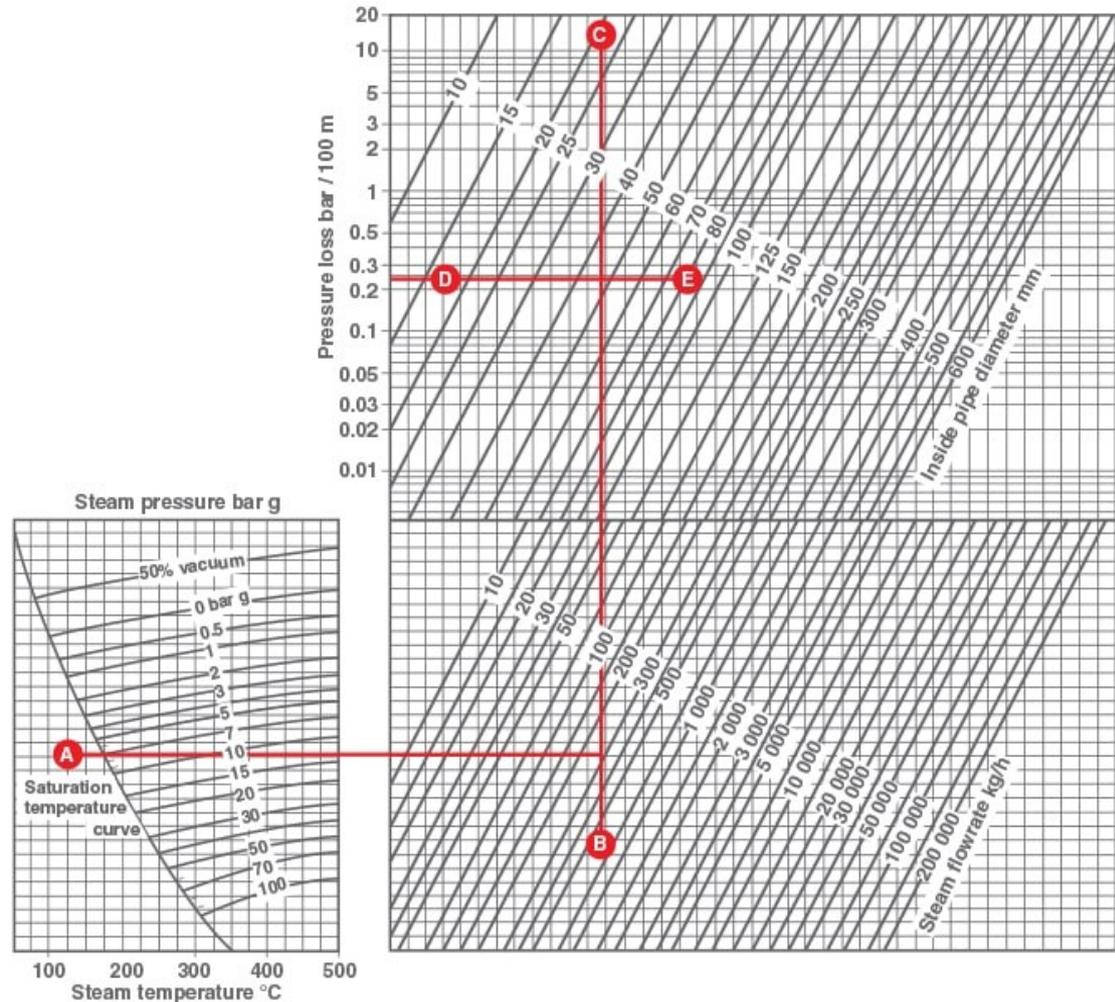
Sistema de distribución de vapor – Dimensionado de tuberías de vapor

Ejemplo:

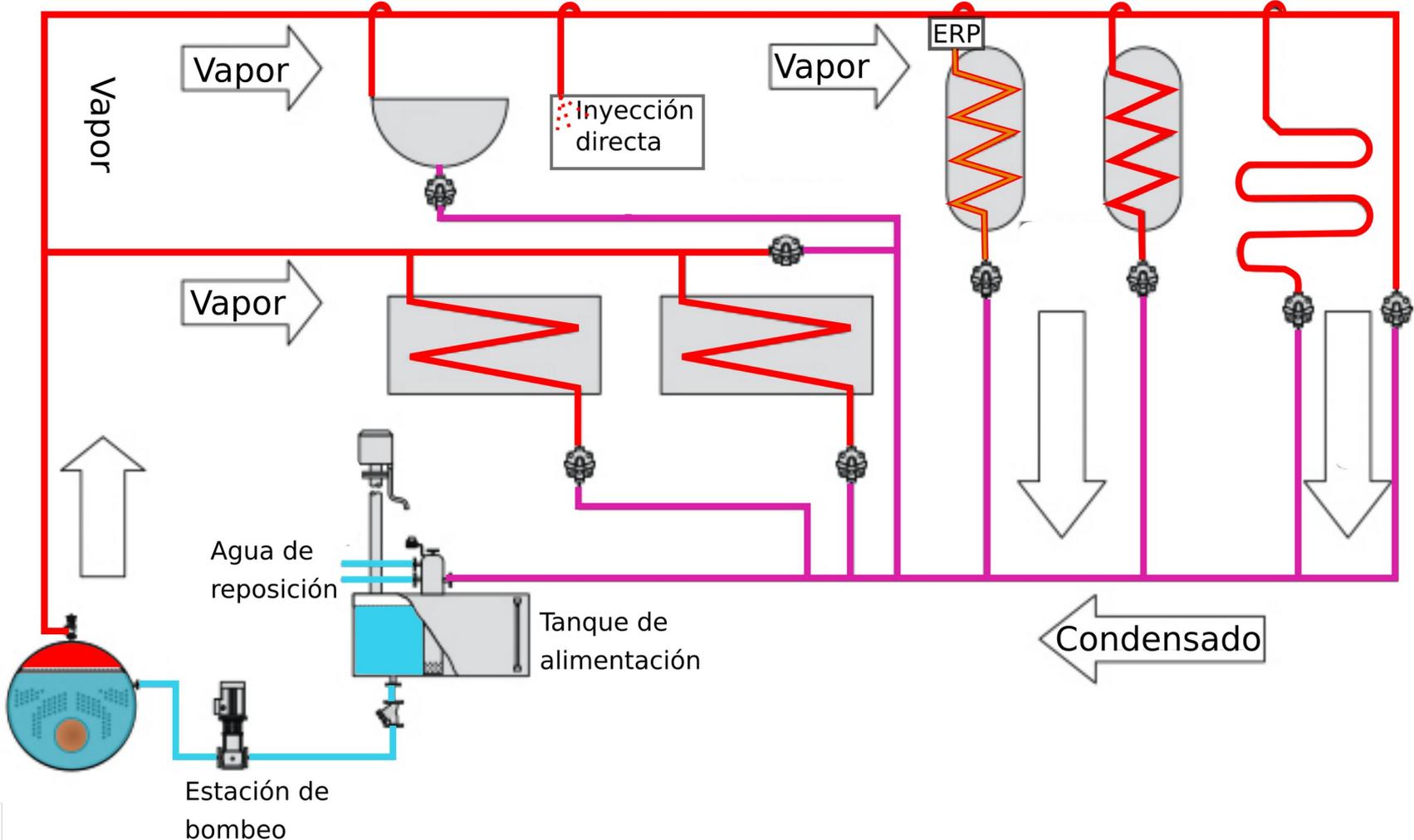
- Vapor saturado.
- Presión de entrada: 7bar_g.
- Presión de salida: 6,6bar_g.
- Flujo de vapor: 270kg/h.
- $L_{eq} = 150 * 1,1 = 165m$

Ábaco:

- i. Vapor saturado a 7bar_g (A).
- ii. Línea horizontal hasta cortar con flujo de vapor (B).
- iii. Línea vertical (B-C)
- iv. Línea horizontal a la caída de presión (DE).
- v. Solución, intersección BC-DE: 50mm.

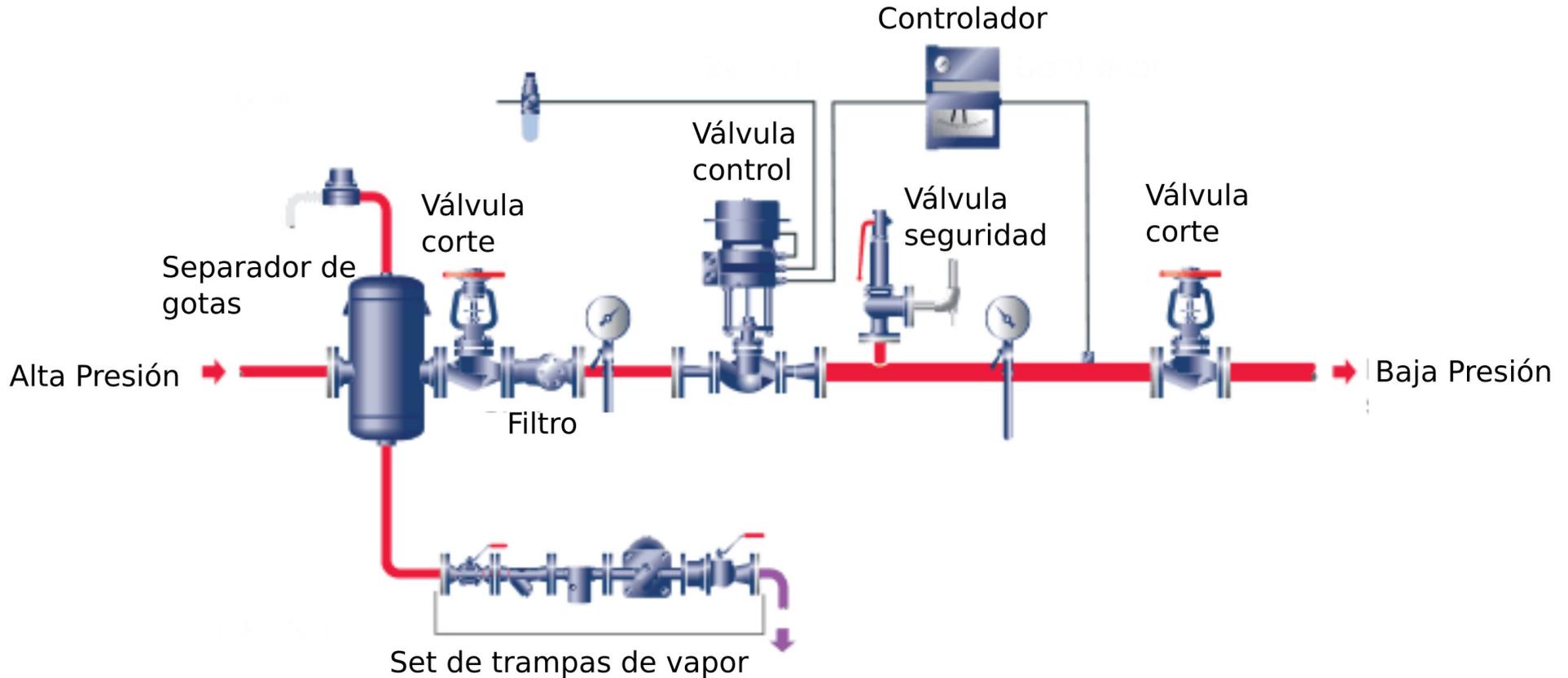


Circulación agua-vapor-condensado – Diagrama básico



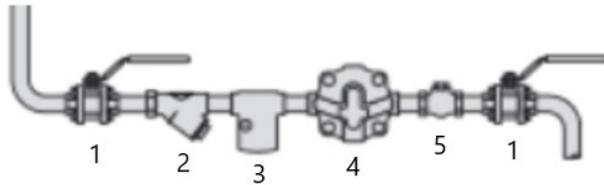
Sistema de distribución de vapor – Estación reductora de presión (ERP)

Control por presión del vapor



Sistema de distribución de vapor – Set de trampa de vapor

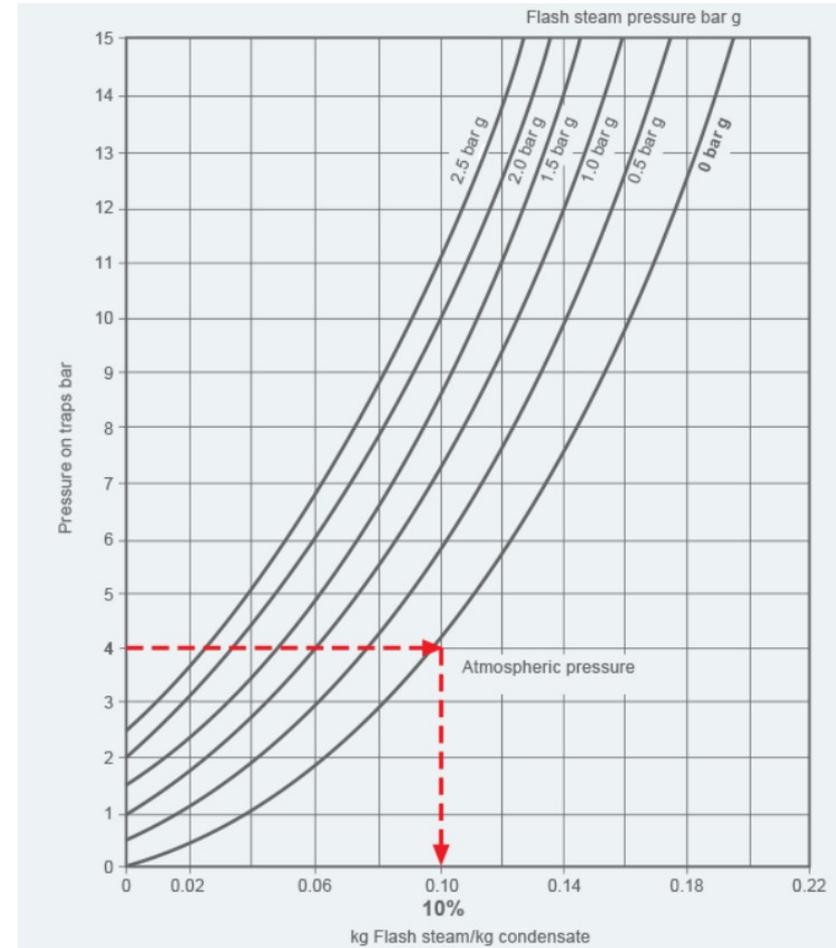
- La función de una trampa de vapor es la de descargar condensado, aire y otros gases incondensables de un sistema de vapor sin permitir el escape de vapor



1. Válvula
2. Filtro
3. Sensor de control de la trampa
4. Trampa de vapor
5. Válvula de retención

P (bar)	h' (kJ/kg)	h'' (kJ/kg)
1	417.44	2674.95
5	640.19	

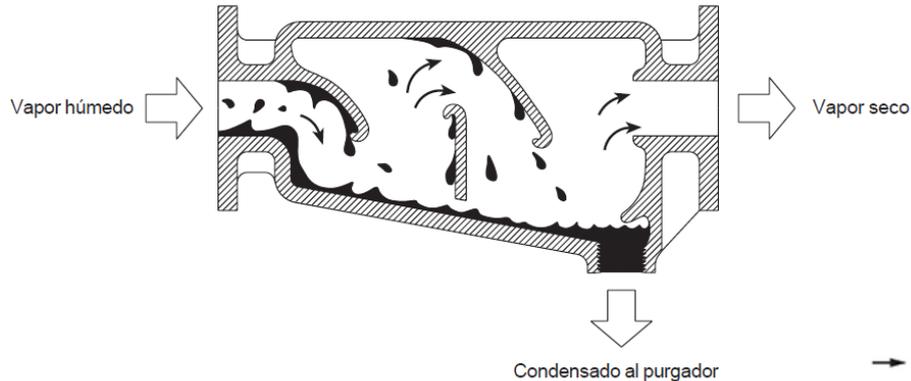
$X = 0,099$



Sistema de distribución de vapor – Separador de gotas y filtros

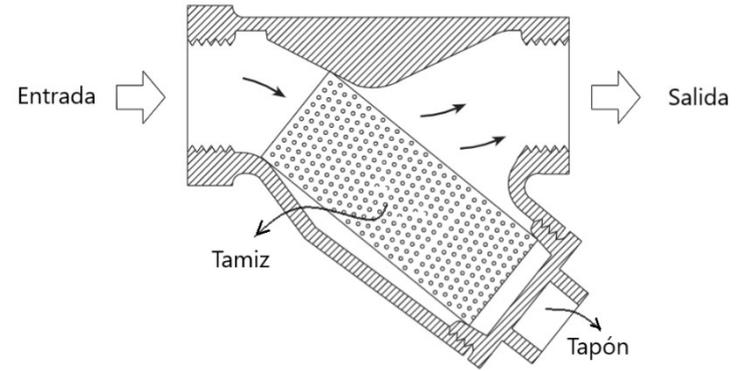
Separador de gotas

- Elimina el agua que arrastra el vapor que entra, permitiendo que sólo el vapor seco pase a través de la válvula reductora de presión

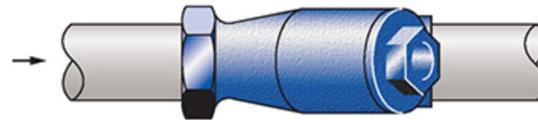


Filtros

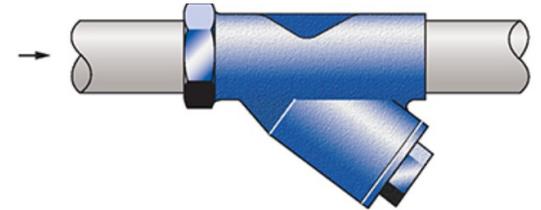
- La suciedad queda retenida en el tamiz. Se retira el tapón para limpieza.



- Instalación

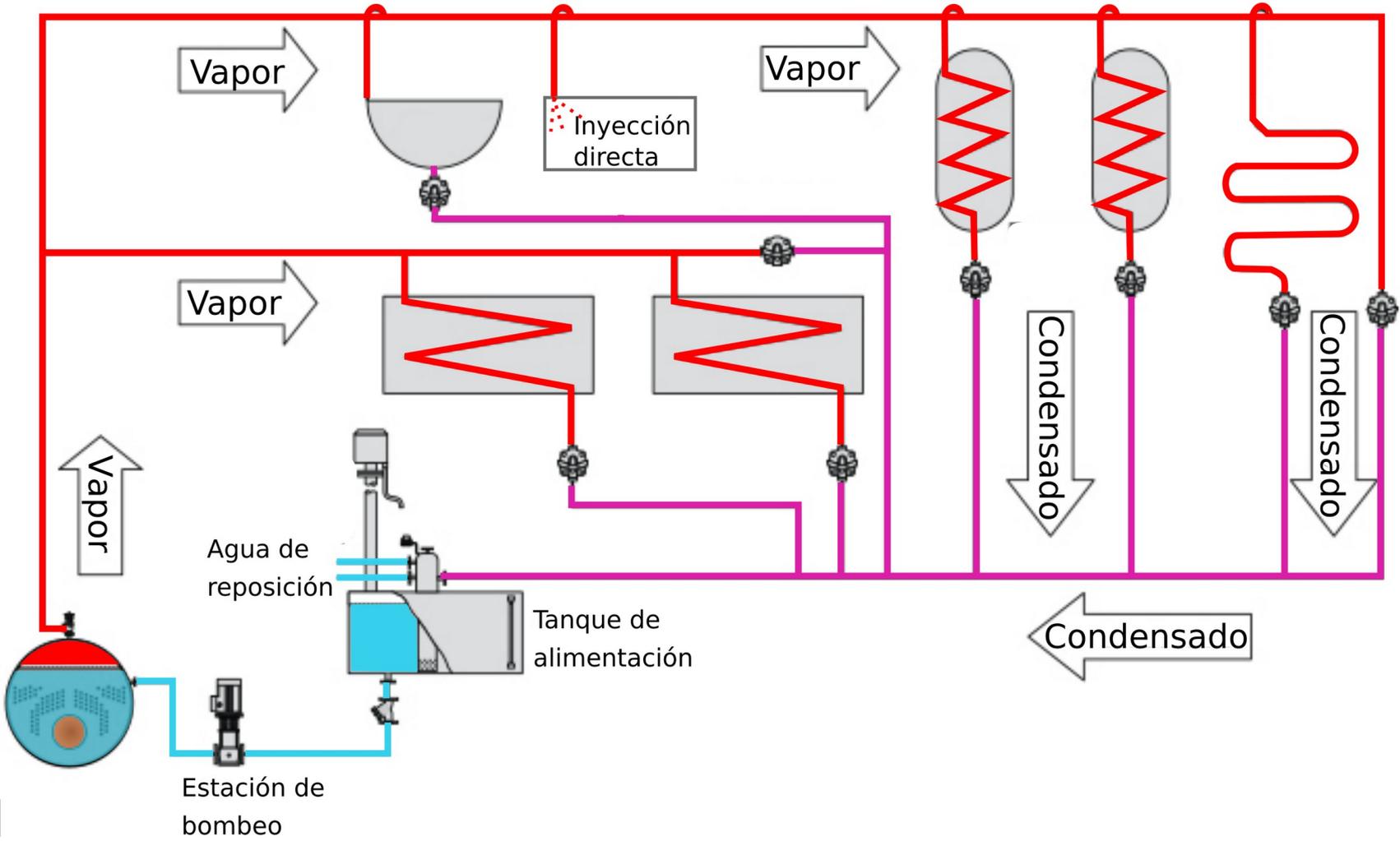


En líneas de vapor o gas



En líneas de líquido

Retorno de condensado – Diagrama básico



Sistema de distribución de vapor – Purgas

Las **aislaciones** no son 100% efectivas, siempre se producen pérdidas de calor hacia el exterior dando lugar a la formación de condensado en la cañería.

Esto no es deseable por las siguientes razones:

- Queremos que llegue **vapor** al punto de consumo y no agua líquida.
- Disminución de la **transferencia de calor**.
- Se puede producir un **golpe de ariete** que deteriore la cañería.
- Aumento de la **velocidad del vapor** sobre los límites recomendados.
- Evitar problemas de **corrosión**.

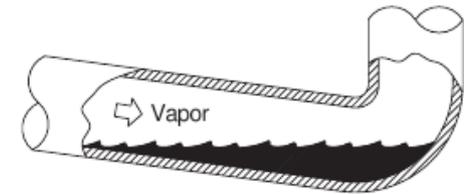
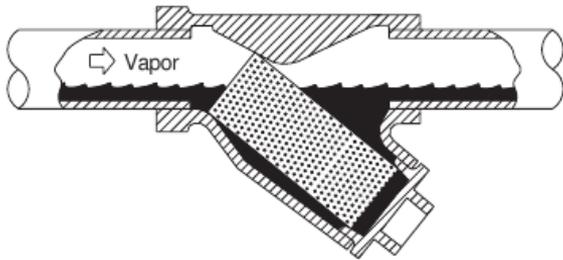
Sistema de distribución de vapor – Golpe de ariete

El **golpe de ariete** se produce cuando el condensado en lugar de ser purgado en los puntos bajos del sistema, es arrastrado por el vapor a lo largo de la tubería, y se detiene bruscamente al impactar contra algún obstáculo del sistema.

Formación de bolsa líquida de agua



Fuentes potenciales de problemas de golpe de ariete.



Sistema de distribución de vapor – Derivaciones

Instalar correctamente las derivaciones. Siempre que salgan hacia arriba, de forma de evitar que el condensado escurra por ellas.

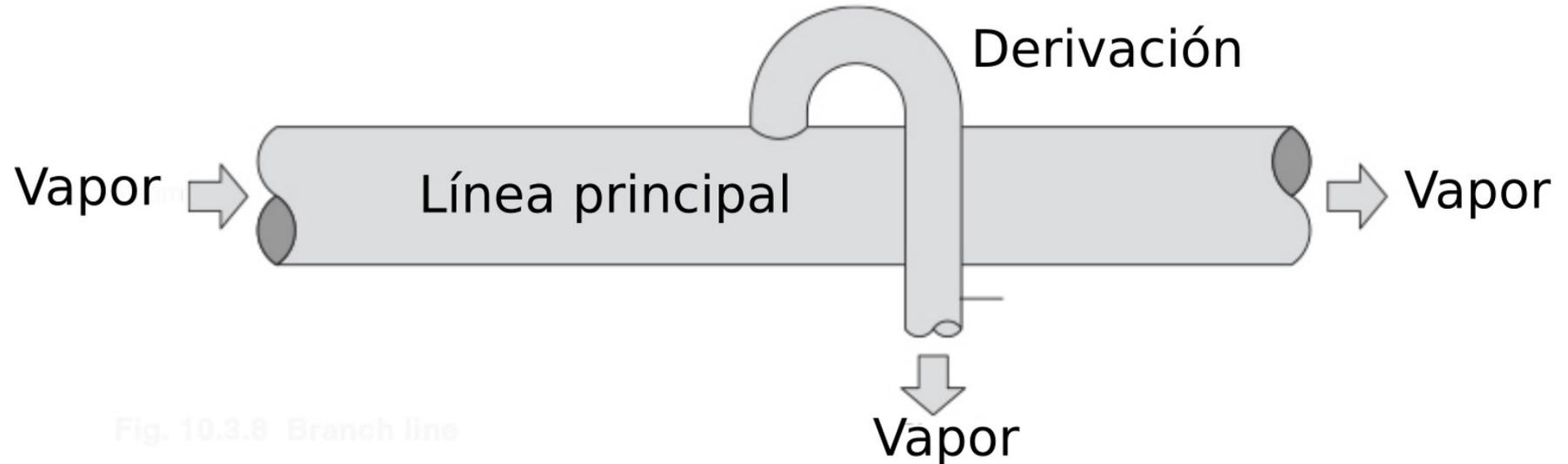


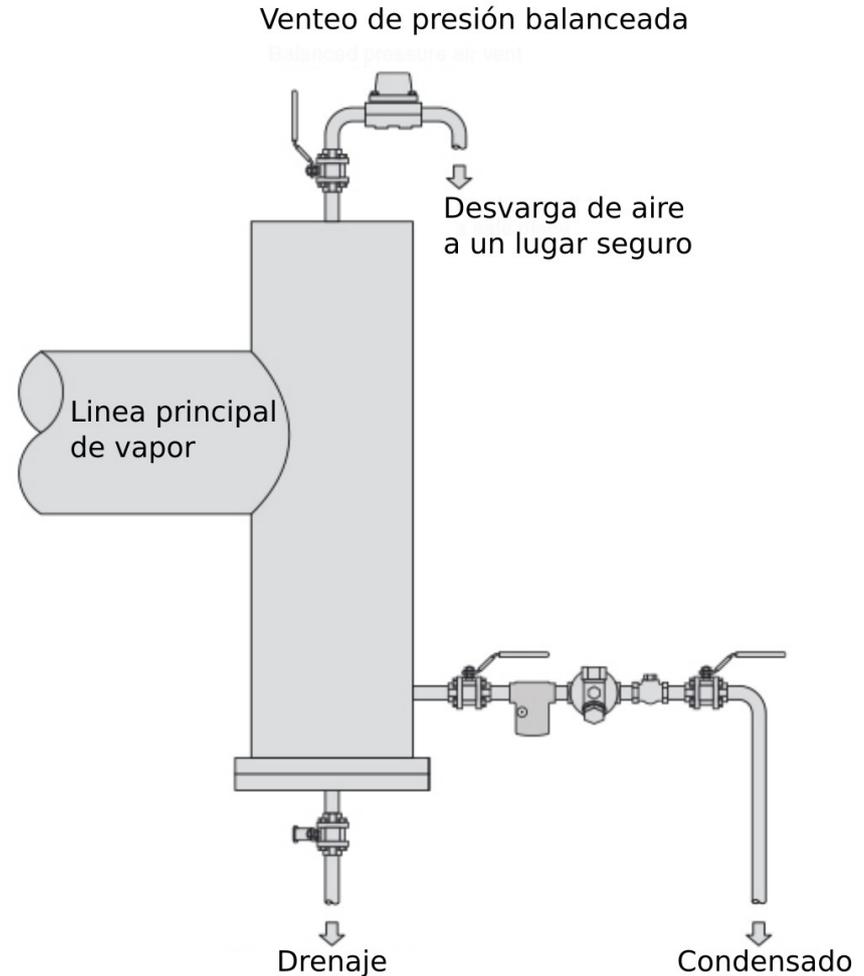
Fig. 10.3.8 Branch line

Sistema de distribución de vapor – Venteos

Instalar venteos para eliminar el aire de la cañería. Recordar que antes que se llene de vapor la cañería está llena de aire (pasa lo mismo en los equipos!!)

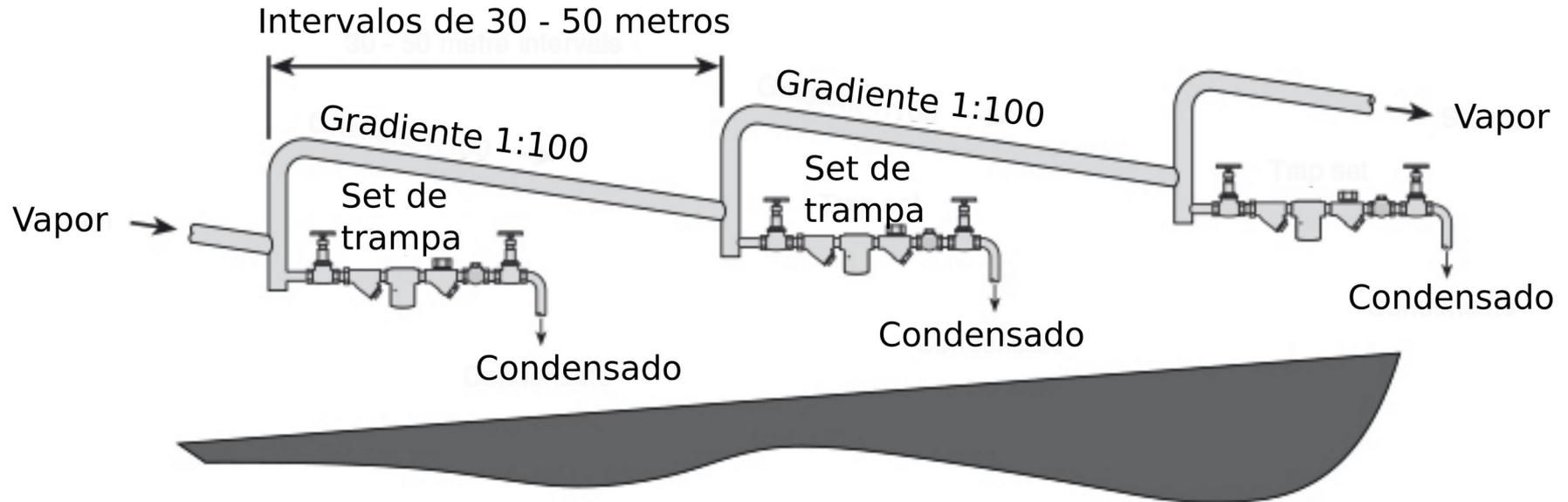
El aire afecta:

- **Presión** (temperatura) del vapor.
- **Transferencia de calor.**



Sistema de distribución de vapor – Purgas

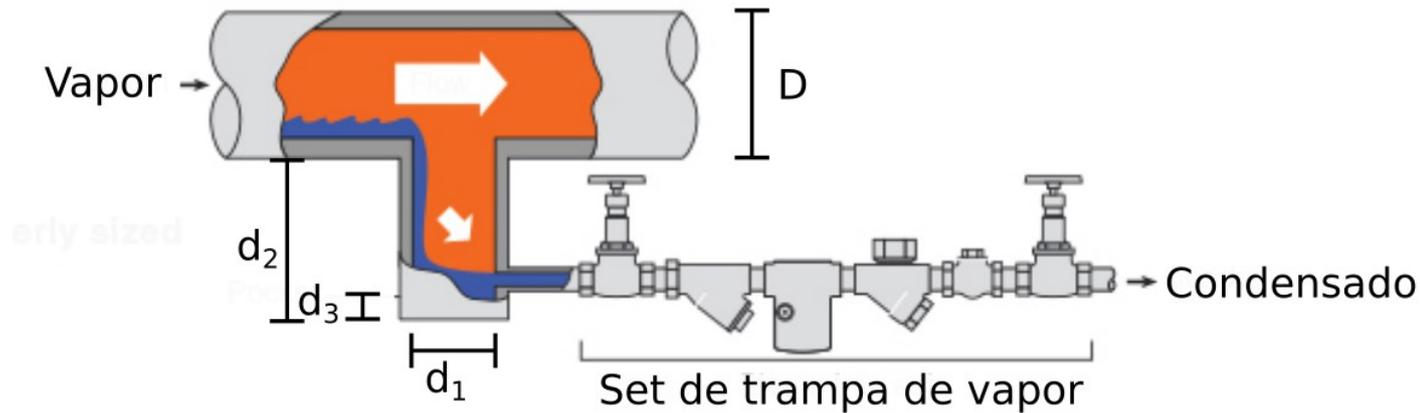
- Montar la tubería con un descenso en la dirección del flujo no menor a 1:100.
- Colocar puntos de purga en la línea para recoger y evacuar el agua a intervalos de 30 a 50m y en puntos críticos donde se pueda acumular condensado.



Sistema de distribución de vapor – Purgas

Pozo de goteo

- El diámetro deberá ser suficiente para capturar el condensado movido a gran velocidad.
- La línea de trampa debe estar a cierta distancia del fondo del pozo.



Diametro principal-D (mm)	Diametro del pozo - d1 (mm)	Profundidad del pozo - d2 (mm)	Distancia de línea de trampa al fondo- d3(mm)
≤100	d1=D	≥100	≥25
125-200	100	≥150	≥50
≥250	d1≥D/2	≥D	≥50

Sistema de distribución de vapor – Purgas

Tablas de formación de condensado para cargas de calentamiento/régimen para líneas de vapor con puntos de purga que no están alejados más de 50 m y un rendimiento del aislamiento de 80%.

Condensado formado en kg/h cada 50 m en la **etapa de calentamiento**:

Presión de vapor bar r	Diámetros - mm														Factor corrección -18°C
	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600	
1	5	9	11	16	22	28	44	60	79	94	123	155	182	254	1,39
2	6	10	13	19	25	33	49	69	92	108	142	179	210	296	1,35
3	7	11	14	20	25	36	54	79	101	120	156	197	232	324	1,32
4	8	12	16	22	30	39	59	83	110	131	170	215	254	353	1,29
5	8	13	17	24	33	42	63	70	119	142	185	233	275	382	1,28

Condensado formado en kg/h cada 50 m en **régimen**:

	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600	
1	5	5	7	9	10	13	16	19	23	25	28	31	35	41	1,54
2	5	6	8	10	12	14	18	22	26	28	32	35	39	46	1,50
3	6	7	9	11	14	16	20	25	30	32	37	40	45	54	1,48
4	7	9	10	12	16	18	23	28	33	37	42	46	51	61	1,45
5	7	9	11	13	17	20	24	30	36	40	46	49	55	66	1,43

Retorno de condensado

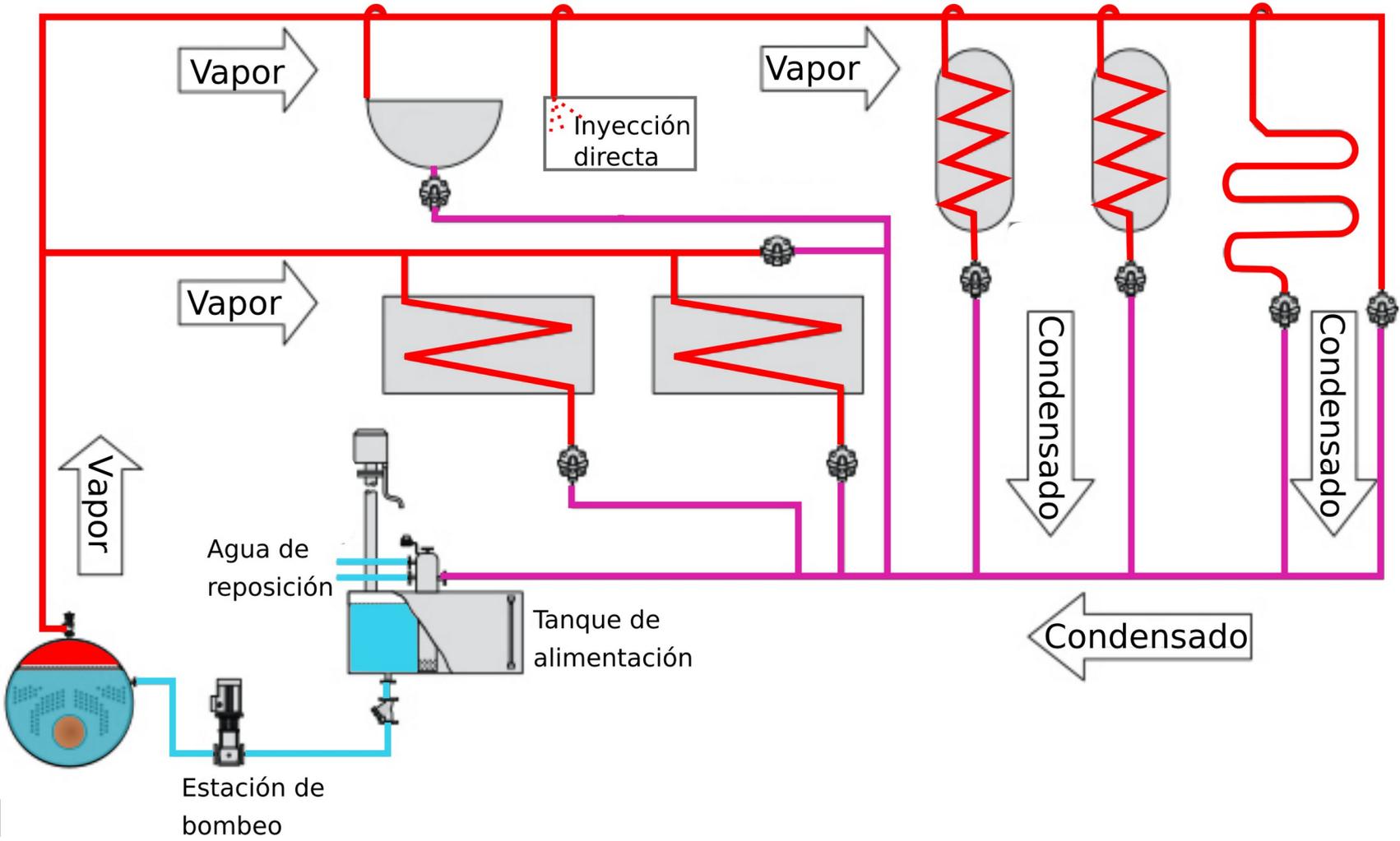
El **condensado** retorna como **agua caliente de muy buena calidad**. Aprovechar el condensado representa un ahorro en los costos de calentar el agua y en el tratamiento químico. Únicamente si el condensado está contaminado no debe usarse.

El condensado es descargado hacia trampas de vapor desde una presión mayor a una menor. En este proceso se produce **vapor flash** (10% a 15% en masa, del orden centenas de veces en volumen).

Tipos de líneas de retorno:

- Desde el equipo a la trampa – condensado.
- Desde la trampa hacia la línea de retorno común – condensado con vapor flash
- Línea de retorno común – condensado con vapor flash
- Línea de retorno con bomba – condensado

Retorno de condensado – Diagrama básico

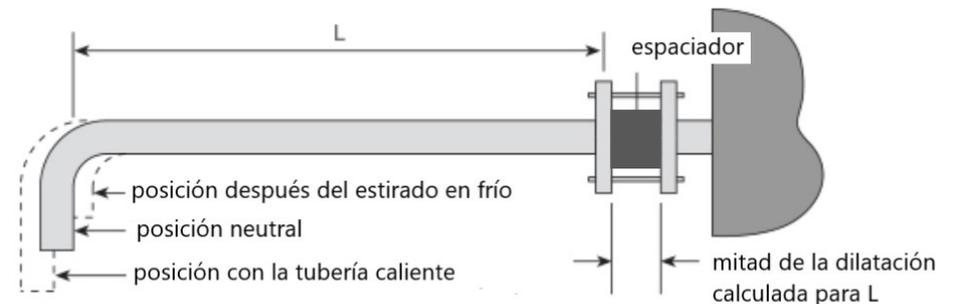
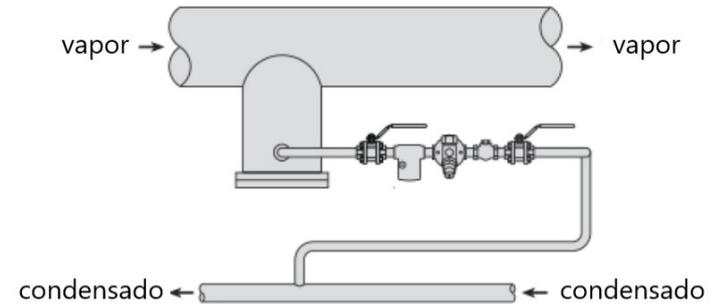


Dilatación y soporte de tuberías

Las cañerías de vapor y condensado sufren dilataciones y contracciones en los arranques y paros del sistema, si no se toman en cuenta en el momento de la instalación podemos sufrir roturas de las mismas en esos momentos.

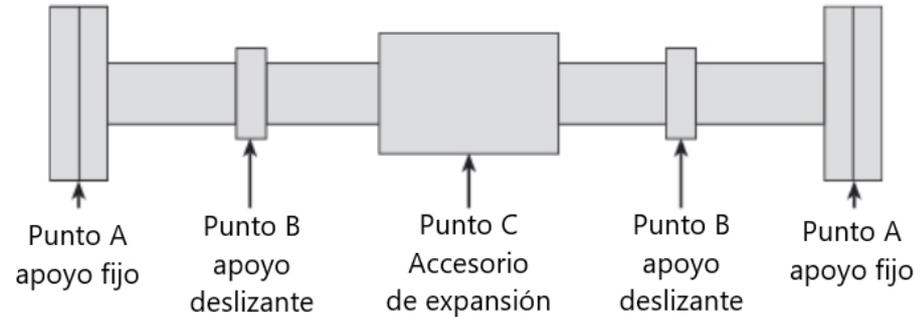
- Flexibilidad: la instalación debe ser lo suficientemente flexible como para soportar los movimientos de los componentes cuando se produce la expansión.
- Uso de separadores que “pre-tensen” la tubería.

El efecto es que el esfuerzo va desde una tracción de $1/2F$ (con la tubería fría) a una compresión $1/2F$ (con la tubería caliente), en lugar de 0 a F .

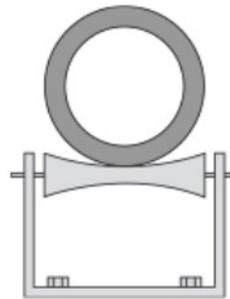


Dilatación y soporte de tuberías

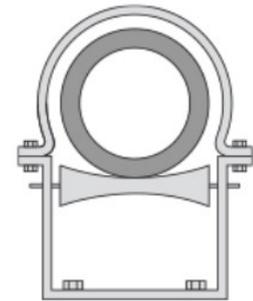
- Uso de apoyos deslizantes y accesorios de dilatación.



- Apoyos deslizantes: permiten el movimiento de expansión y contracción manteniendo la alineación de la tubería.



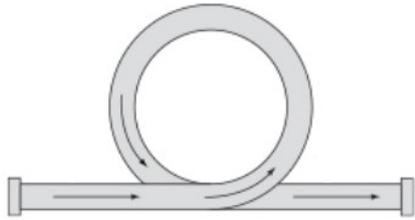
Patín



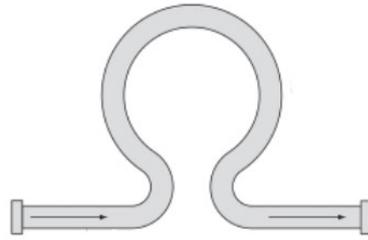
Patín con abrazadera

Dilatación y soporte de tuberías

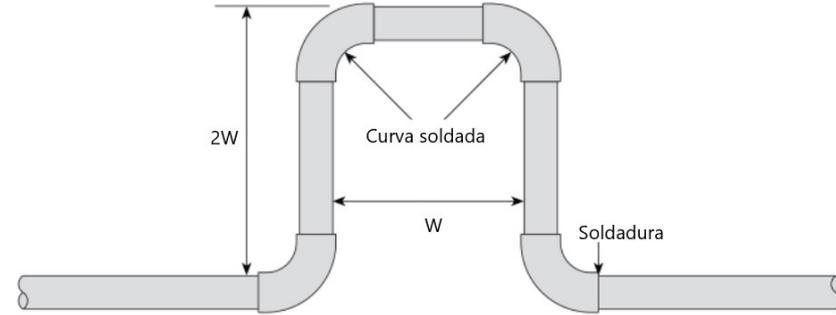
- Accesorio de expansión: absorbe expansiones y contracciones.



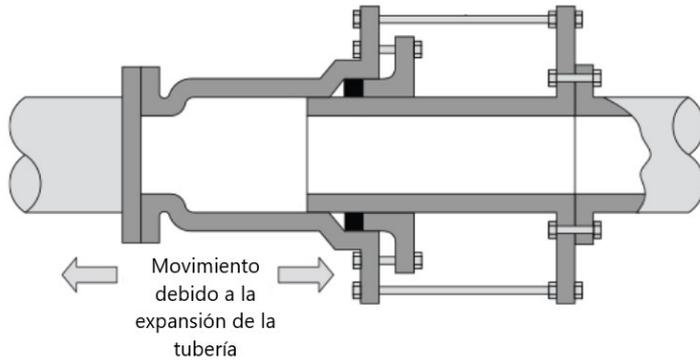
Curva completa



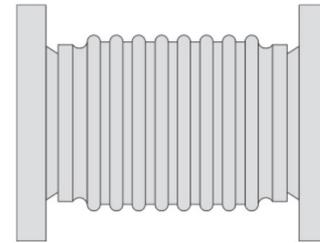
Lira o herradura



Curva de dilatación



Junta deslizante



Fuelle

Dilatación y soporte de tuberías

- Para el soporte de las tuberías se deben colocar apoyos a intervalos razonables, que dependen del diámetro de la tubería, el material y de si la línea es vertical u horizontal.

- Los intervalos no deben superar lo presentado en la tabla.
- Cuando las tuberías van a sufrir dilataciones y contracciones importantes (ej. líneas de más de 15 m), los soportes deben ser deslizantes.
- Las líneas verticales deben tener un soporte adecuado en la base, que soporte el peso total de la línea y del fluido.

Nominal pipe size (mm)		Interval of horizontal run (metre)		Interval of vertical run (metre)	
Steel bore	Copper outside diameter	Mild steel	Copper	Mild steel	Copper
	15		1.2	2.4	1.8
15		1.8		3.0	
20	22	2.4	1.2	3.0	1.8
25	28	2.4	0.5	3.0	2.4
32	35	2.4	1.8	3.7	3.0
40	42	2.4	1.8	3.7	3.0
50	54	2.4	1.8	4.6	3.0
65	67	3.0	2.4	4.6	3.7
80	76	3.0	2.4	4.6	3.7
100	108	3.0	2.4	5.5	3.7
125	133	3.7	3.0	5.5	3.7
150	159	4.5	3.7	5.5	
200		6.0		8.5	
250		6.5		9.0	
300		7.0		10.0	