

CURSO: HERVIDA DE MOSTO - PRACTICA

1. Contenido programático



**Objetivos de la
hervida**



**Equipos usados
para hervir el mosto**



Ahorro de energía

Objetivos prácticos de la hervida de mosto

1. *Evaporación eficientemente de agua:* es necesario aumentar la temperatura del mosto hasta el punto de ebullición de tal forma que pueda comenzar a evaporar el exceso de agua.
2. *Buena homogenización (convección) del mosto dentro de la paila:* la mezcla homogénea del mosto es promovida por las turbulencias ocasionadas durante la hervida.
3. *Formación/Evaporación eficiente de compuestos volátiles aromáticos:* con una evaporación homogénea del agua/vapor son arrastrados muchos compuestos indeseados por las burbujas formadas durante la hervida.
4. *Calentamiento gradual del mosto para evitar sobrecalentamiento (reacción de Maillard):* el aumento de la temperatura debe ser gradual para evitar puntos de altas temperaturas que podrían acelerar reacciones adversas y/o caramelización de las azúcares fermentables.

Parámetros de la hervida de mosto

1. *Temperatura*
2. *Tiempo total de la hervida*
3. *Valor de pH*
4. *Tasa de evaporación y eficiencia*



Tipos de pailas de hervir el mosto

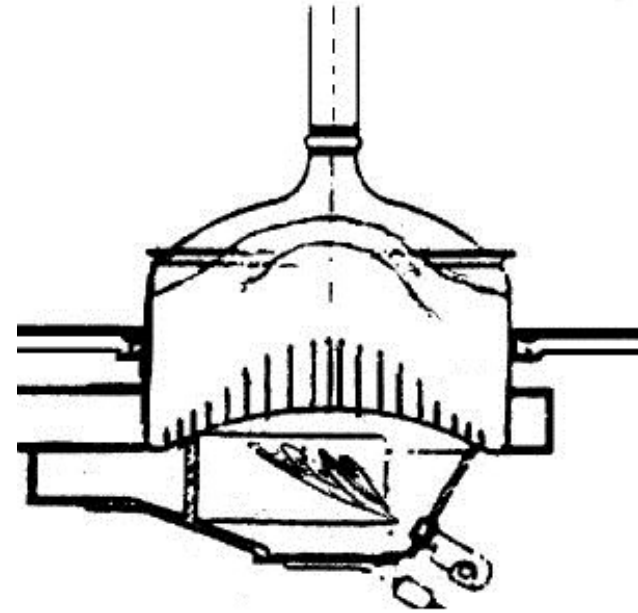
1. Pailas calentadas por fuego directamente
2. Calentamiento con vapor
3. Evaporador interno
4. Evaporador externo
5. Pre-calentador de mosto filtrado

Tipos de procesos para la hervida del mosto

1. Hervida por paso (tipo batch)
 - Hervida atmosférica
 - Hervida a presión
 - Hervida en vacío
2. Hervida continua
 - Hervida a altas temperaturas

Tipos de pailas de hervir el mosto: Pailas con fuego directo

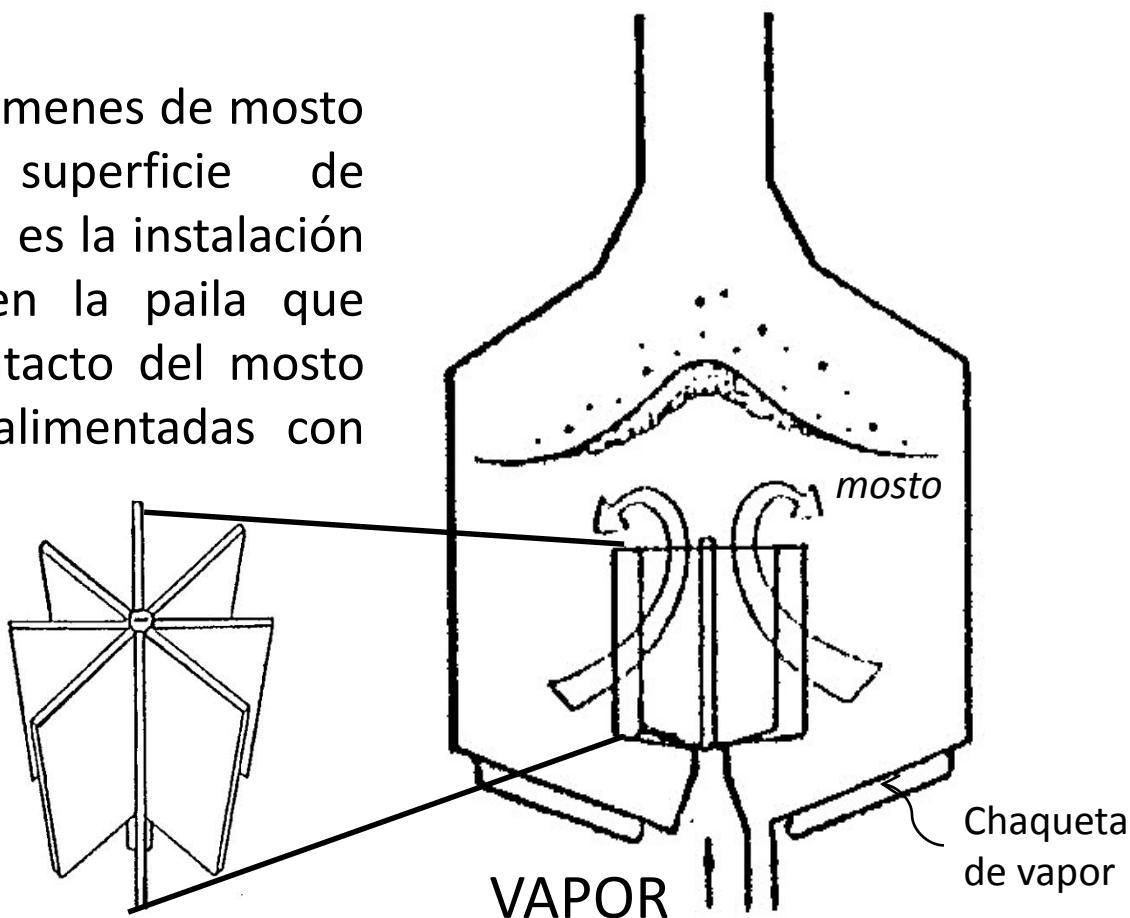
- Se utiliza carbón, gas o combustible
- Generalmente es para volúmenes pequeños
- Normalmente son requeridas mas de 2 horas para la hervida
- El fondo de la paila es curvo (mayor área de contacto)



- La parte crítica del equipo es la del centro, donde la llama golpea el cobre. Aquí ocurre un proceso de oxidación que obliga a reemplazar el fondo de la paila por uno nuevo cada cierto tiempo.

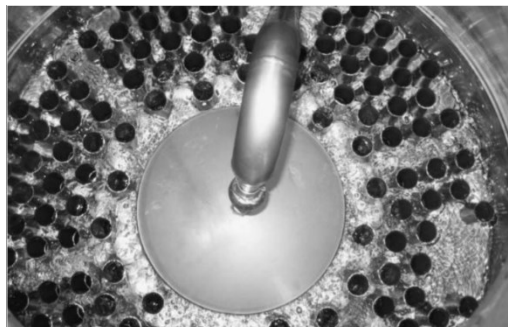
Tipos de pailas de hervir el mosto: Calentamiento con vapor

- Estas pailas poseen chaquetas en el fondo y las paredes
- Para manejar grandes volúmenes de mosto se requiere mayor superficie de calentamiento. La solución es la instalación de elementos internos en la paila que aumenten el área de contacto del mosto con las zonas calientes alimentadas con vapor.
- El aumento del área de contacto permite hervir menor tiempo el mosto debido a que aumenta la *tasa de evaporación horaria*

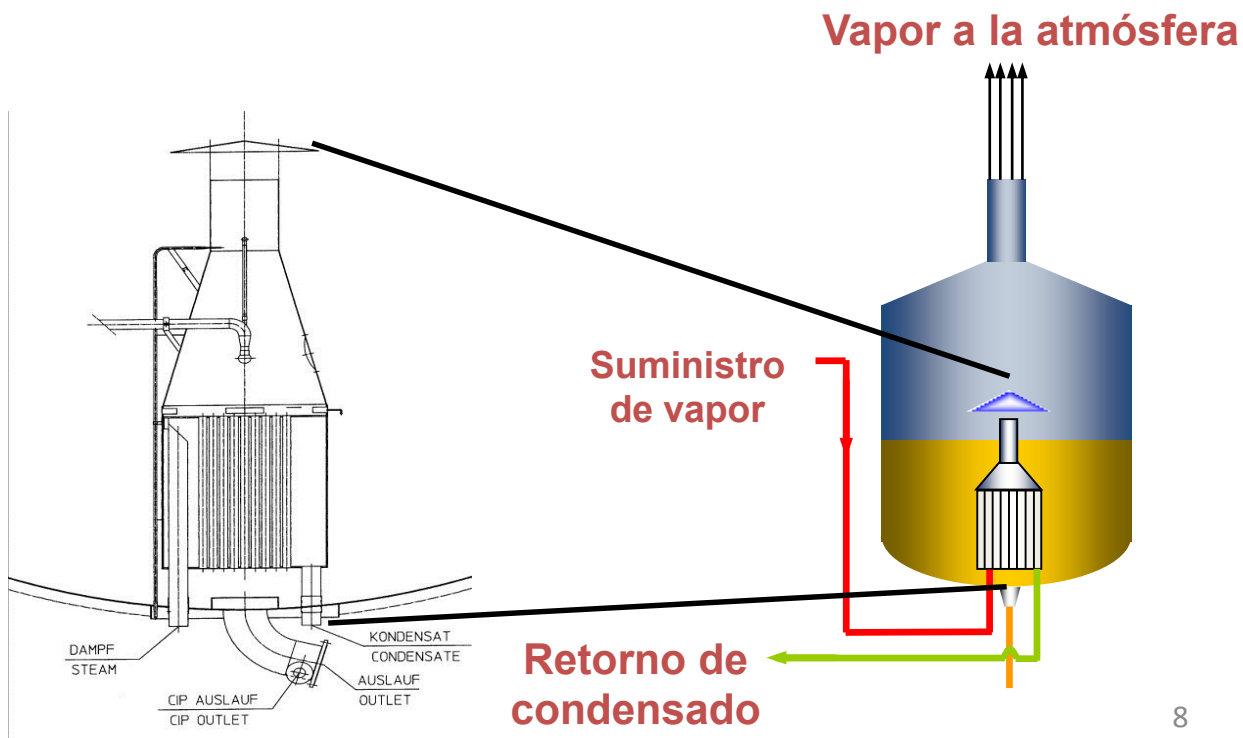


Tipos de pailas de hervir el mosto: Calentamiento interno

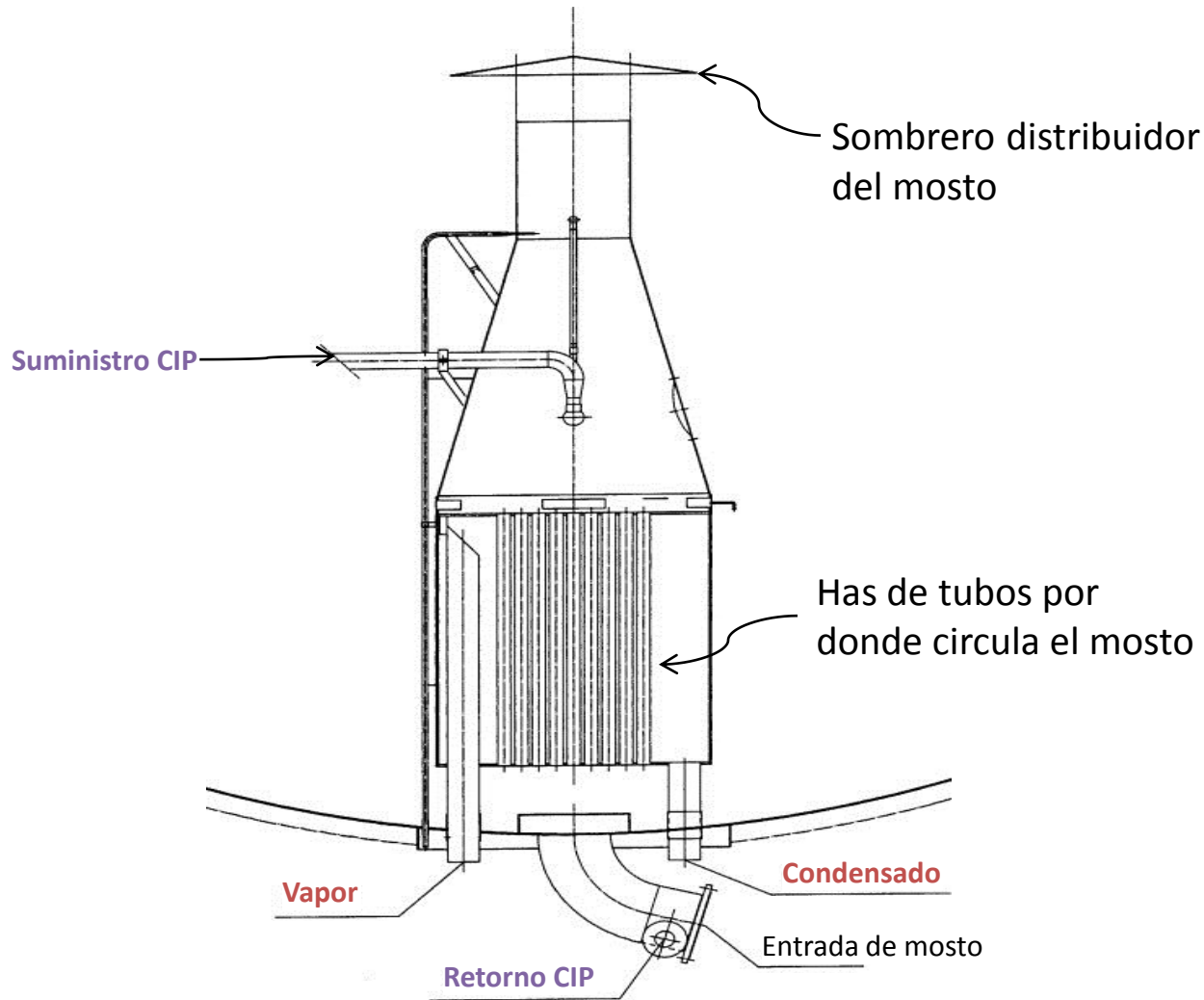
- La hervida es atmosférica o a presión
- La presión de trabajo es de aprox. 1 bar
- Circulación del mosto natural (no se requiere bomba)
- Construcción simple



El cocedor interno se conforma por una cantidad de tubos por donde circula el mosto. Los tubos se encuentran dentro del cilindro por donde circula vapor

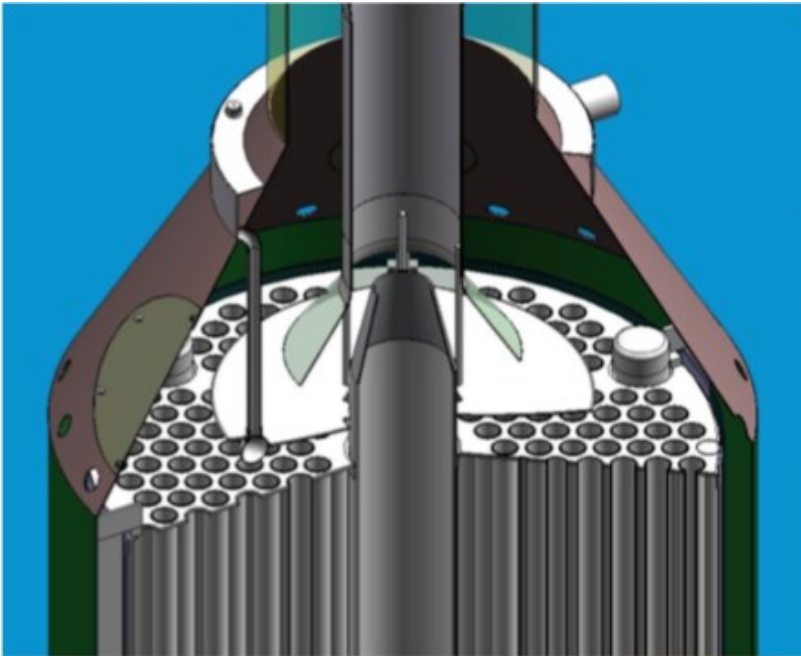


Tipos de pailas de hervir el mosto: Calentamiento interno

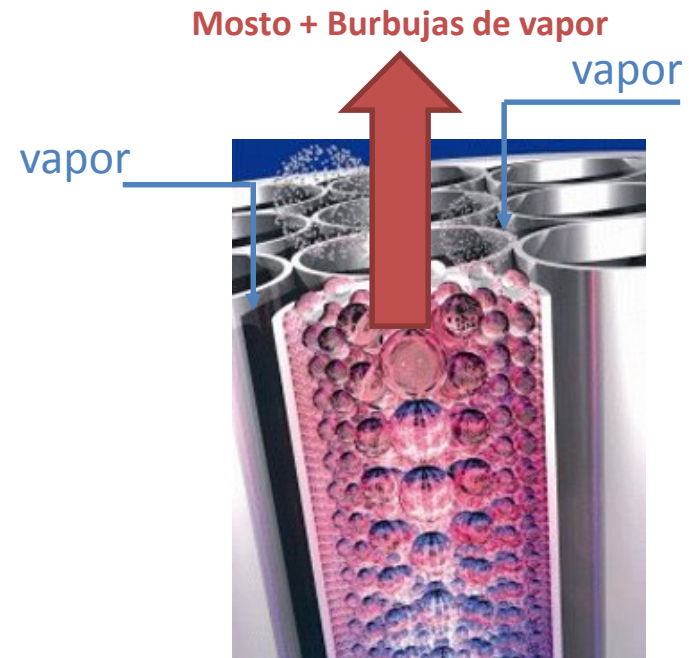


Tipos de pailas de hervir el mosto: Calentamiento interno

Estructura interna del cocedor:



Alrededor de los tubos por donde pasará el mosto circulará el vapor



Proceso de vaporización dentro de los tubos del cocedor

Tipos de pailas de hervir el mosto: Calentamiento interno

Problemática con el uso del cocedor interno:

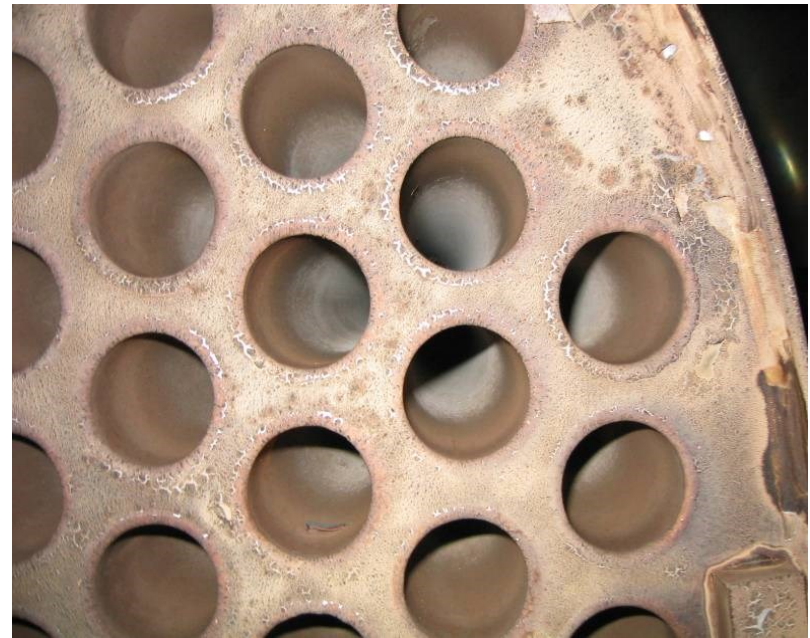
1. Distribución y mezclado aleatorio en el interior de la paila
2. Fenómeno de la pulsación (espumeo súbito al subir la temperatura hasta la ebullición) con la consiguiente destrucción de proteínas espumantes
3. Compromiso entre la formación y volatilización de DMS sin bajar significativamente el nitrógeno coagulable.
4. Alta carga térmica impartida al mosto
5. Altos costos de evaporación
6. Se debe limpiar el cocedor interno frecuentemente para evitar el ensuciamiento interno o “fouling”.

Tipos de pailas de hervir el mosto: Calentamiento interno

Fouling o ensuciamiento de tubos de un cocedor interno:



Tubos con fouling



Tubos sin fouling

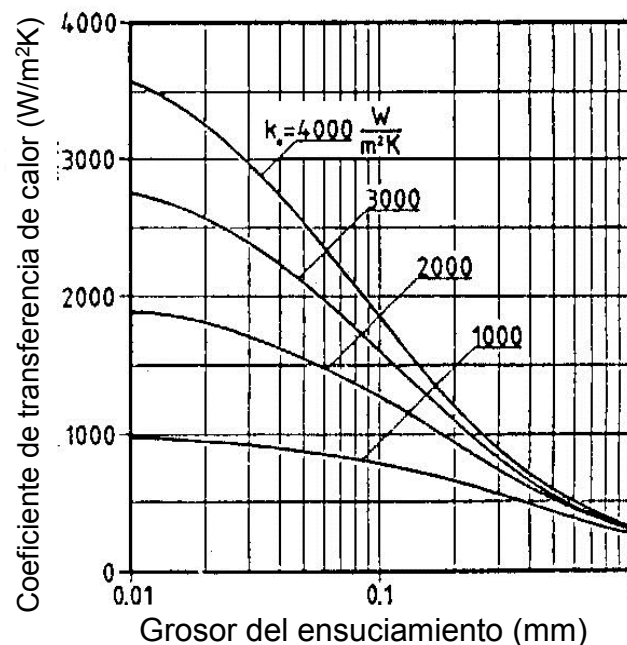
El fouling de los tubos impide la circulación del mosto lo que se traduce en pérdidas de eficiencia de calentamiento/evaporación hasta la parada completa del equipo

Tipos de pailas de hervir el mosto: Calentamiento interno

Fouling o ensuciamiento de tubos de un cocedor interno:



Tubos con fouling



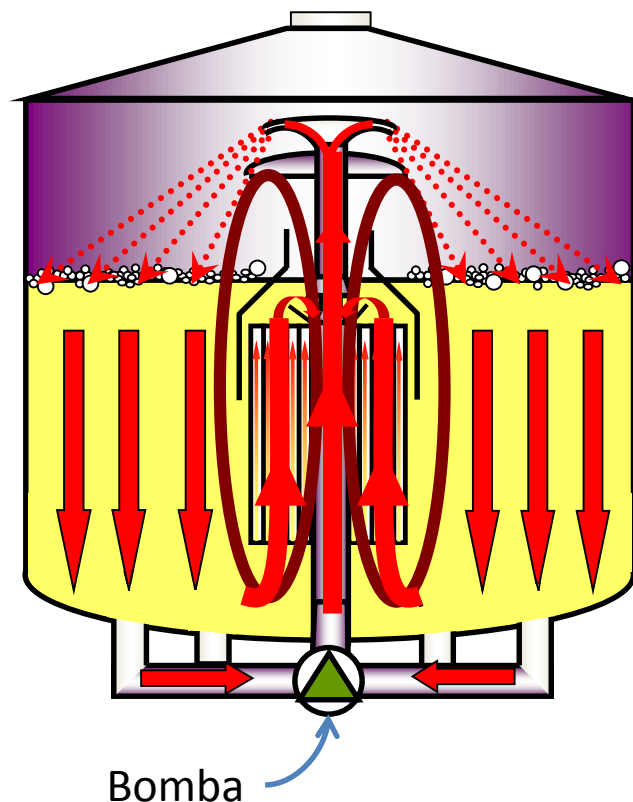
Coefficiente de transferencia de calor vs. el fouling de una tubería

Mientras mayor es el grosor de la capa de fouling en la tubería, menor es el coeficiente de transferencia de calor por lo que disminuye la eficiencia del equipo

Tipos de pailas de hervir el mosto: Calentamiento interno con circulación forzada

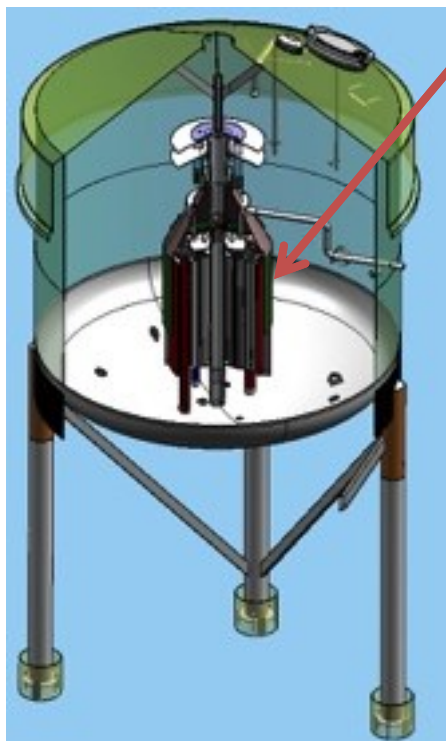
Para garantizar el flujo del mosto por el cocedor interno es posible instalar una bomba que asegure una homogénea circulación.

- Elimina el fenómeno de la pulsación
- Menor formación de fouling
- Menor evaporación total requerida
- Buena volatilización de DMS
- Baja carga térmica sobre el mosto
- Distribución homogénea del mosto por la circulación forzada



Tipos de pailas de hervir el mosto: Calentamiento interno con circulación forzada

Circulación de mosto por el cocedor interno hacia el sombrero y distribución



Sección de
tubos internos
del cocedor

Corte transversal del
cocedor interno



*Vapor y DMS
ascienden hacia la
chimenea*

El alcance de la corriente de mosto distribuido
por el sombrero debe alcanzar $\frac{2}{3}$ del radio de
la paila

Tipos de pailas de hervir el mosto: Calentamiento interno

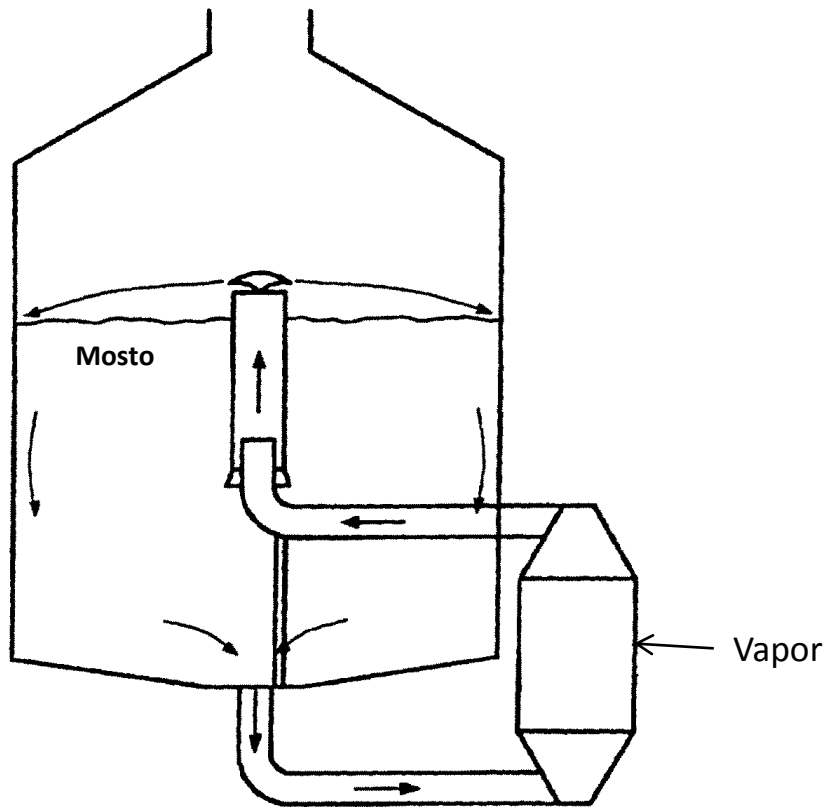
El mosto pasa por el calentador interno y a su salida entra en contacto con el “sombrero distribuidor” en la parte superior. La corriente de agua que se genera por el choque es un sombrero extendido sobre el nivel del mosto el cual cumple las siguientes funciones:

- *Romper la espuma formada en la parte superior del mosto*
- *Aumenta el area del mosto por lo que se eleva la tasa de evaporación*
- *El vapor generado desde nivel superior del mosto atraviesa el techo de agua formado por el sombrero distribuidor donde ocurre un proceso de Stripping o absorción: el vapor arrastra el DMS de la corriente de agua.*



Tipos de pailas de hervir el mosto: Calentamiento con calentamiento externo

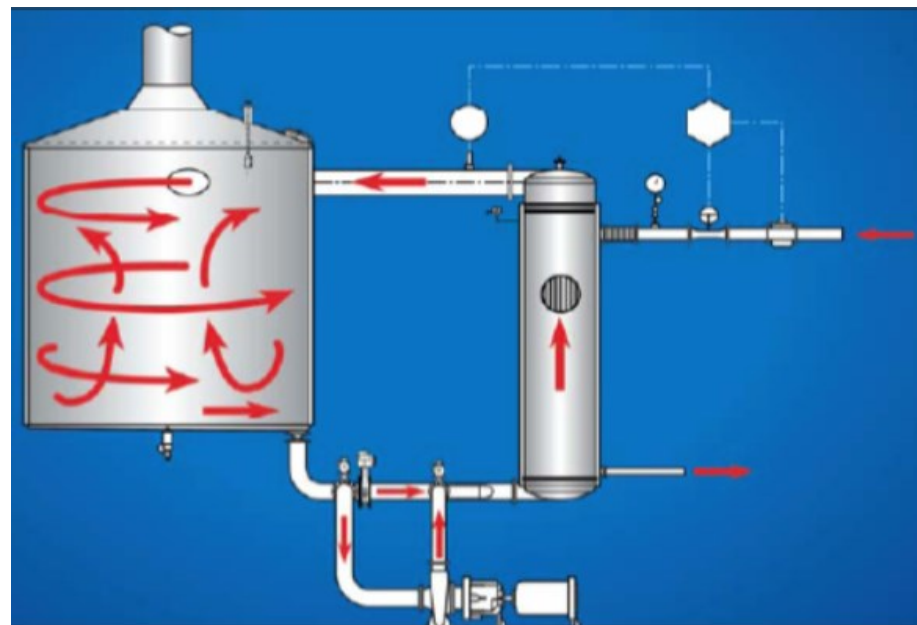
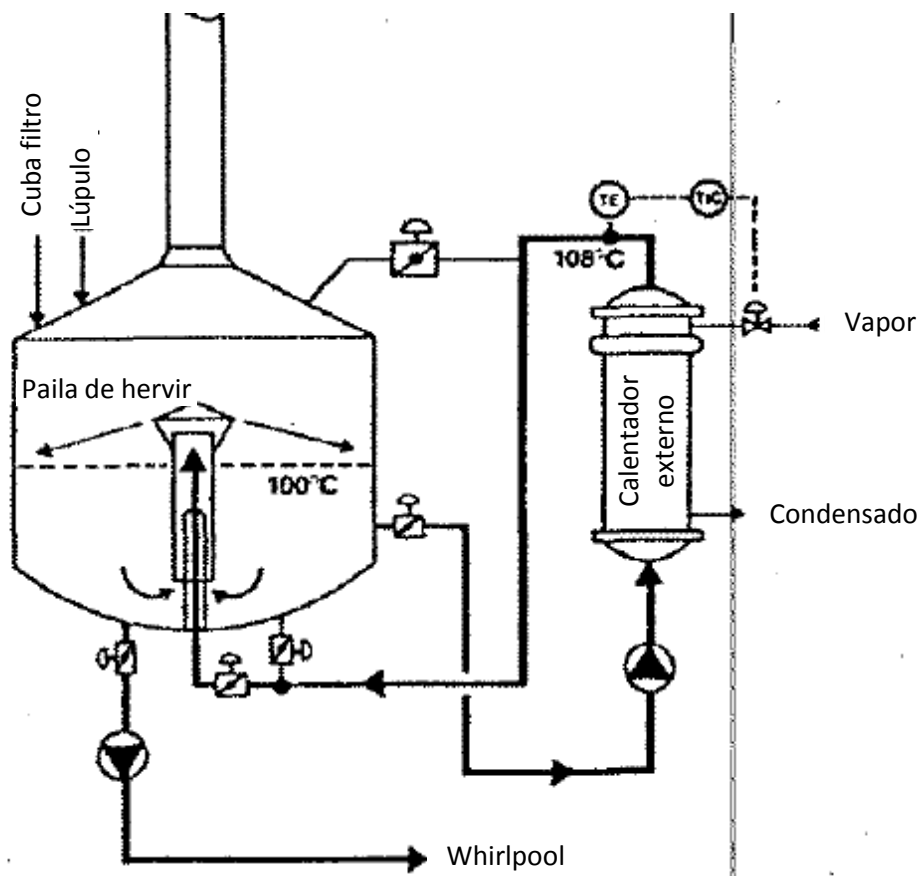
El calentador puede estar ubicado exteriormente a la paila. El mosto sale por la parte inferior de la paila hacia el calentador que es suministrado con vapor para retornar al equipo.



- Por la ubicación del cocedor externo debajo de la paila este se inunda sin necesidad de una bomba. Al calentarse el mosto se producen burbujas de vapor y la densidad disminuye con lo que se garantiza el flujo ascendente de regreso hacia la paila.
- Una ventaja del cocedor externo es que puede operar a sobrepresiones de 0,1-0,3 bar, permitiendo así que se alcancen temperaturas de hervor superiores a los 100°C (102-110°C).
- Esto permite que reacciones como la conversión del PDMS a DMS libre se aceleren.

Tipos de pailas de hervir el mosto: Calentamiento con calentamiento externo

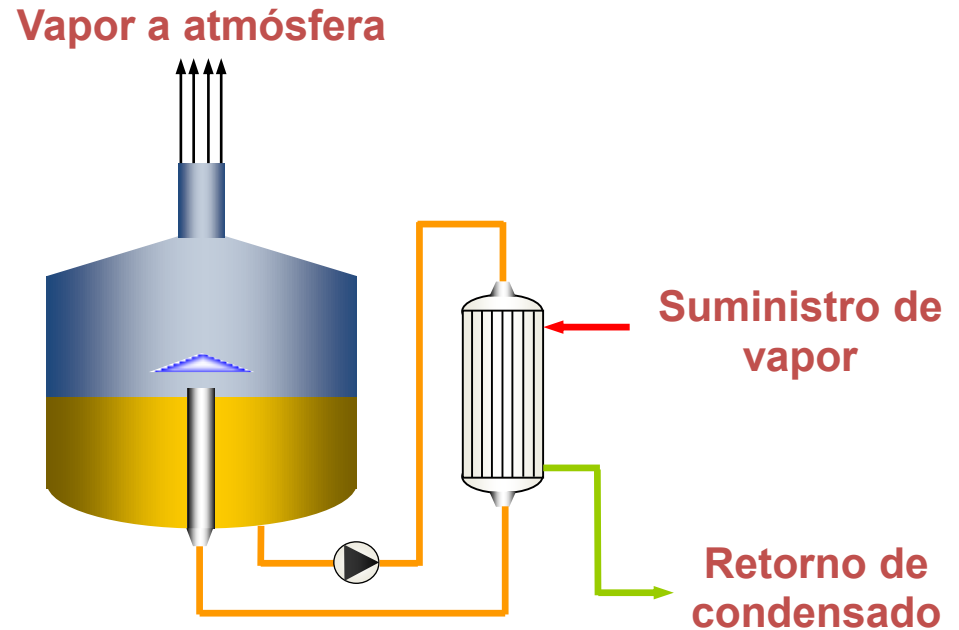
Así como en el calentamiento interno es posible instalar una bomba para garantizar la circulación del mosto a través del calentador externo y retornarlo a la paila de hervir.



La capacidad de la bomba debe ser tal que logre recircular el volumen total de mosto unas 8-9 veces por hora. La paila funcionaría como Whirlpool teniendo una entrada tangencial(opcional)

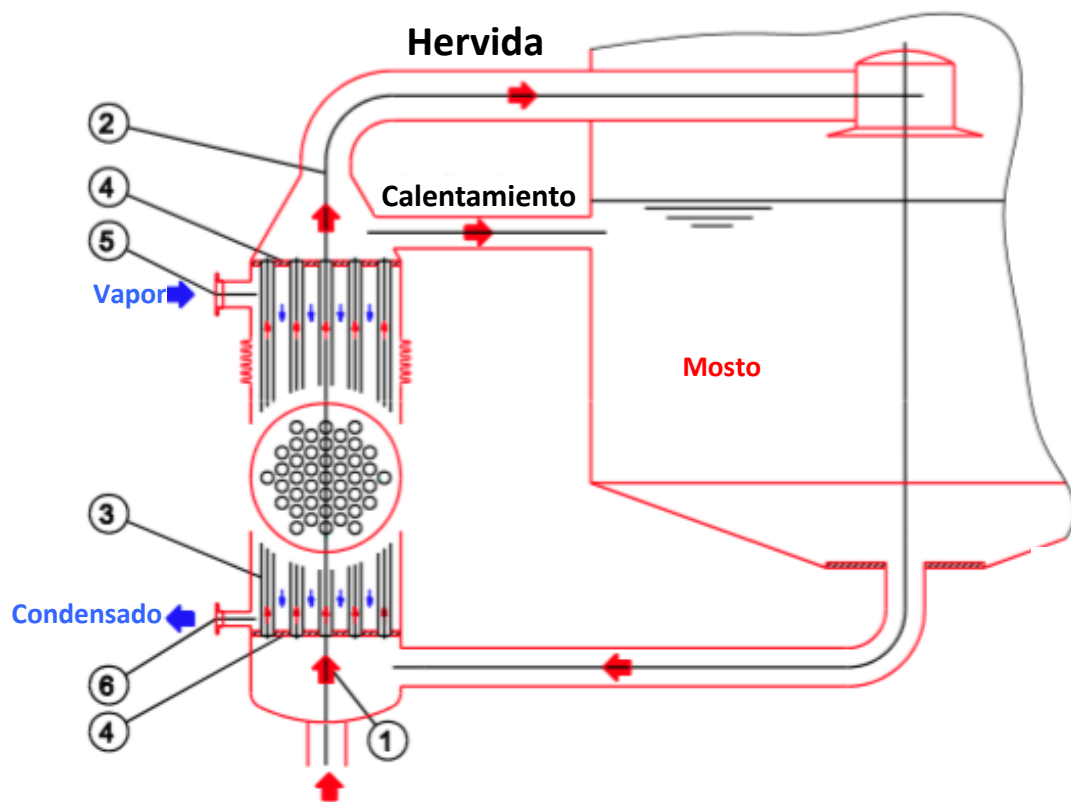
Tipos de pailas de hervir el mosto: Calentamiento con calentamiento externo

El mosto es bombeado fuera de la paila a través de un calentador externo, en el que se genera una ligera sobre-presión por lo que la temperatura se eleva hasta unos 108°C. Al retornar el mosto a la paila vuelve a la presión atmosférica por lo que se produce una despresurización acompañada de una evaporación súbita. Esto permite reducir el tiempo de hervida sin comprometer la calidad del mosto (en términos de DMS).



Tipos de pailas de hervir el mosto: Calentamiento con calentamiento externo

Diagrama esquemático del funcionamiento del cocedor externo:



1. Entrada de mosto
2. Salida de mosto
3. Tubos de mosto
4. Plato de soporte de tuberías
5. Entrada de vapor
6. Salida de condensado

Tipos de pailas de hervir el mosto: Hervida a presión

1. El empleo de presión superior a la atmosférica permite alcanzar temperaturas de ebullición mayores. Esto acelera reacciones químicas como la conversión de PDMS a DMS libre, la isomerización de los α -ácidos, etc. Al acelerarse estas reacciones es posible reducir el tiempo total de hervida y el %Evaporación total.
2. Costos de inversión altos en lugares ubicados gran altura (con respecto al nivel del mar).
3. Se emplean los siguientes tres procesos de hervida a presión:
 - a) *Hervida estática a sobrepresión baja*: se aumenta la presión y se mantienen estas condiciones en el tiempo de hervida.
 - b) *Hervida dinámica a sobrepresión baja*: aumentos y disminuciones consecutivas de la presión durante la hervida.
 - c) *Hervida a alta temperatura (hervida continua)*: se alcanzan temperaturas de 130-135°C (sólo 3 minutos) a través de un intercambiador de placas y tuberías de mantenimiento de la temperatura (serpentes).

Válvula que cierra para generar sobrepresión

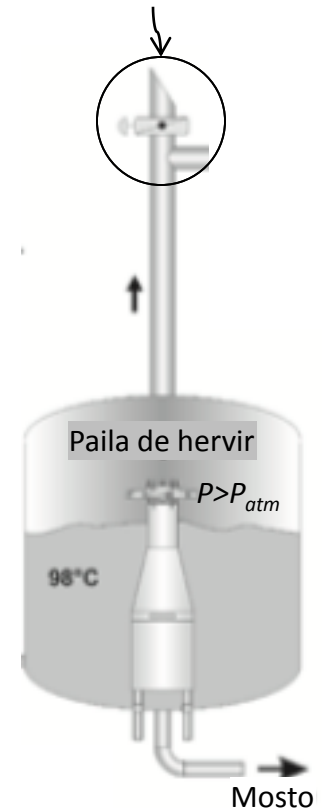
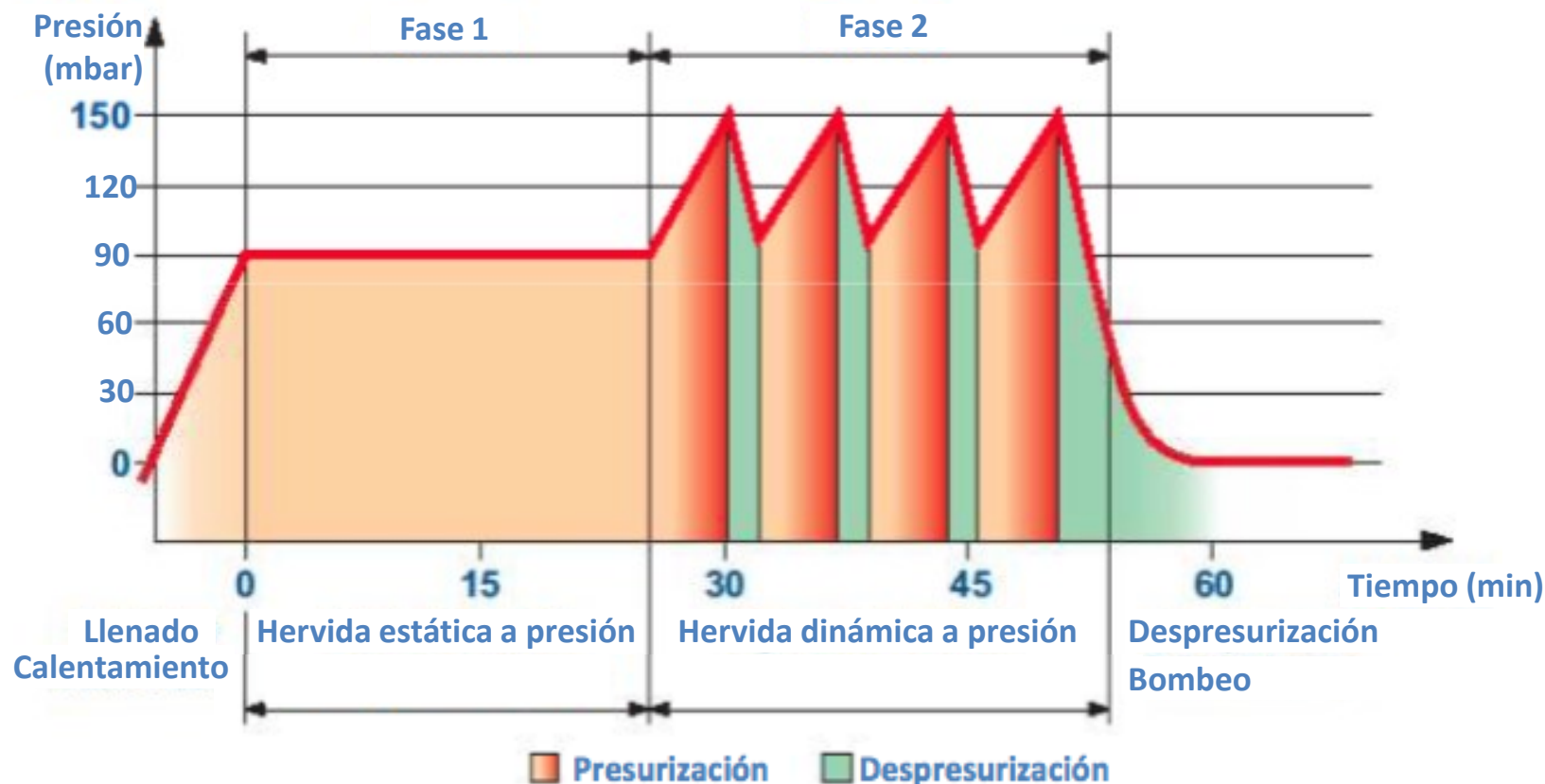


Diagrama esquemático de una hervida a presión:



Las continuas despresurizaciones en la hervida dinámica permiten una formación súbita de burbujas de vapor que hacen un efecto de Stripping o absorción de compuestos volátiles que se extraen junto con el vapor del mosto hacia el exterior de la paila

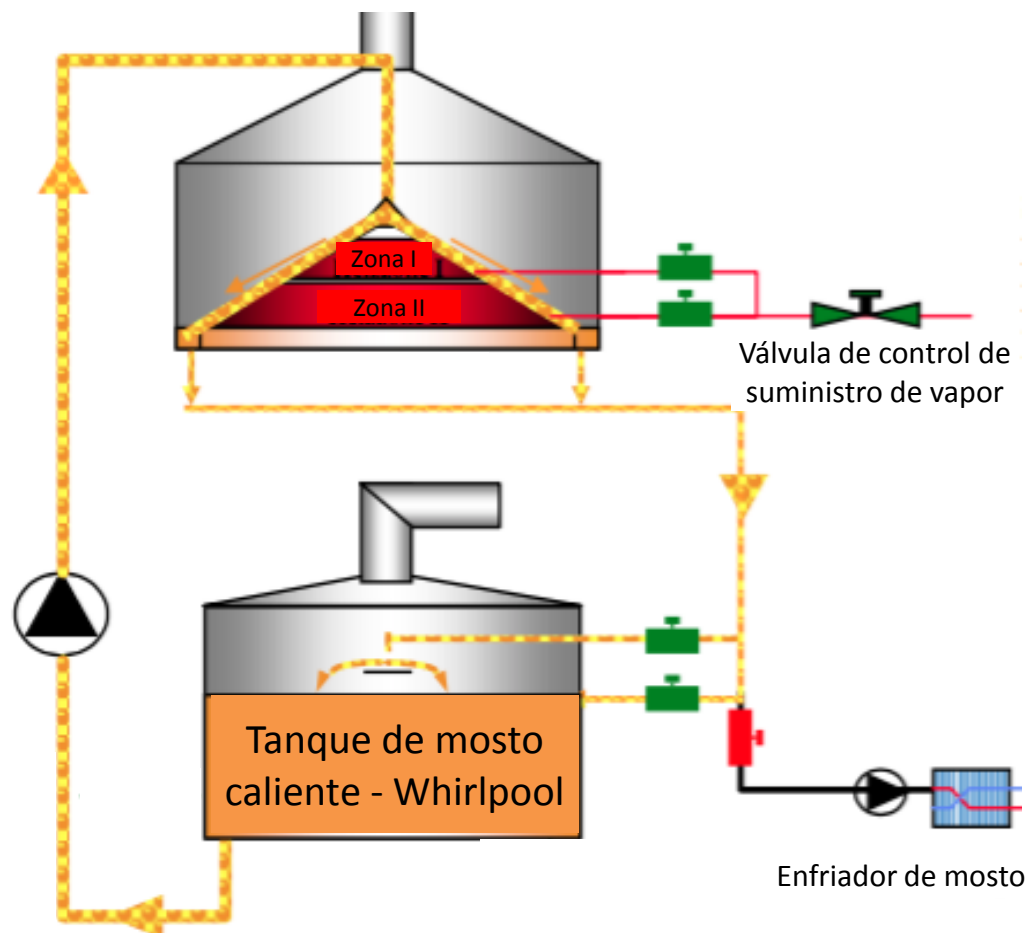
Tipos de pailas de hervir el mosto: Otros procesos de hervida del mosto

Evaporador de espesor de película fina

Es una combinación de una hervida y un Stripping del mosto. La planta se compone de dos equipos: el primero que contiene el cono de calentamiento (dividido a su vez en dos zonas) y el segundo sirve como tanque de almacenamiento de mosto caliente y luego funcionará como Whirlpool.

La hervida puede durar 35-40 minutos.

Luego de la hervida y el descanso de Whirlpool (15 minutos) se vuelve a pasar el mosto por el cono hacia el enfriador para volatilizar lo formado en el Whirlpool.



Tipos de pailas de hervir el mosto: Otros procesos de hervida del mosto

Evaporador de espesor de película fino

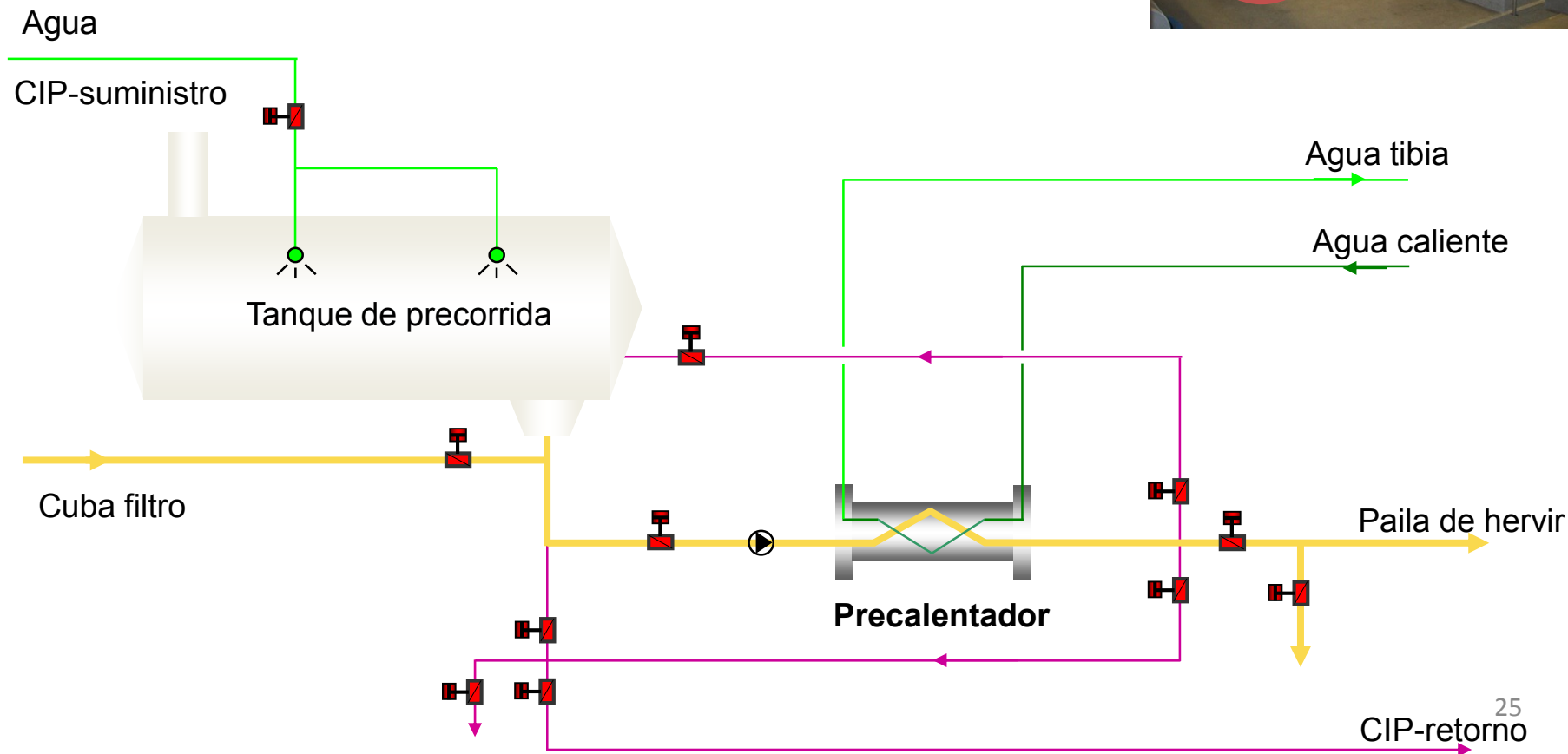
El **Stripping** es un proceso físico de separación en el que ciertos compuestos presentes en una fase líquida son transferidos a una fase gaseosa. Para que pueda darse esta transferencia se requiere el contacto eficiente del gas con el líquido bajo el principio de flujo en contracorriente: el gas en flujo ascendente y el líquido en flujo descendente. Sin embargo, es posible realizarlo en cocorriente también.

El proceso de Stripping ocurre en la hervida del mosto gracias al efecto del sombrero distribuidor: se forma una cortina de líquido sobre el nivel del mosto. El vapor que se genera en el volumen debe atravesar la cortina de mosto formada por el sombrero y así ocurre la transferencia de DMS y otros compuestos volátiles del mosto hacia el vapor ascendente.

Precalentamiento del mosto

Para ahorrarse el tiempo del calentamiento del mosto es posible instalar un precalentador (intercambiador de placas) cuya función es elevar la temperatura del mosto desde la temperatura de filtración (aprox. 75°C) hasta 98°C. Se utiliza agua caliente como fuente de calentamiento del mosto en el intercambiador.

Precalentador



Ahorro de energía en la hervida de mosto

Consumo de energía en el cocimiento

	Consumo de energía [MJ*/hL cerveza]	% Del consumo total
Toda la cervecería	145-285	100%
Cocimiento	81-128	50%
Maceración	15-26	20%
Calentamiento del mosto hasta ebullición	14-16	10%
Ebullición	16-37	20%

**MJ = megajoule (unidad de potencia)*

La evaporación es por lo tanto un proceso que consume el 10% de toda la energía de la cervecería entera. Es por ello que reducir el %Evaporación total y/o mejorar la eficiencia de la hervida impacta importantemente los costos por consumo energético.

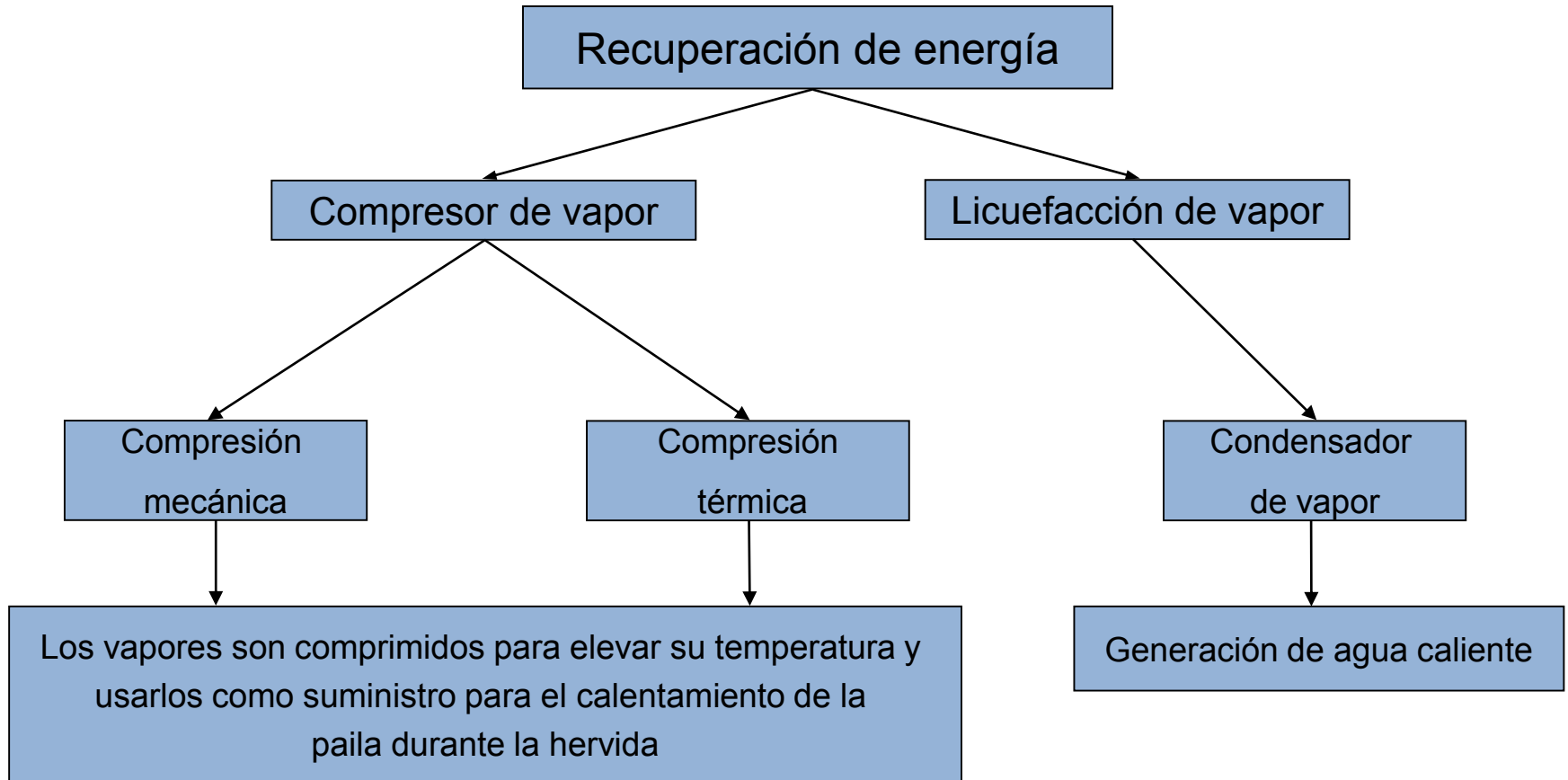
Ahorro de energía en la hervida de mosto

La energía que se consume para la evaporación del agua del mosto se encuentra disponible en el vapor generado en este proceso. Los equipos utilizados para recuperar esta energía contenida en el vapor son los siguientes:

- Compresión mecánica de vapor
- Compresión térmica de vapor
- Condensador de vapor
- Sistema de almacenamiento de energía
- Precalentador de mosto (antes de la hervida)

Aproximadamente 1hL de agua evaporada en la paila puede calentar 6 hL de agua de 12°C hasta 80°C. En otras palabras, 4% de evaporación total es suficiente para calentar el mosto filtrado de 72°C a 92 °C.

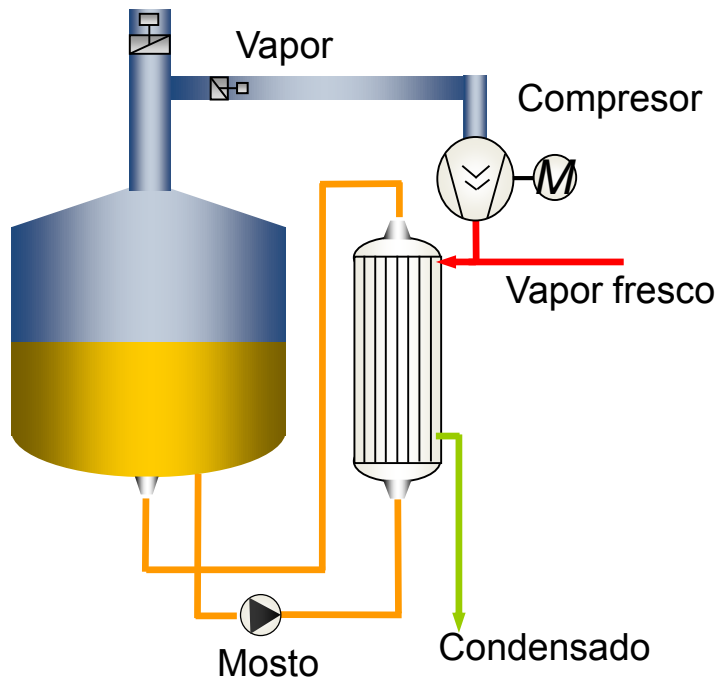
Ahorro de energía en la hervida de mosto



Ahorro de energía en la hervida de mosto

Compresión mecánica del vapor

Se comprime el vapor ascendente producto de la hervida del mosto. Al comprimirlo se puede usar como vapor para calentar el mosto. Esto reduce hasta 80% del consumo de vapor fresco.



■ *Ventajas:*

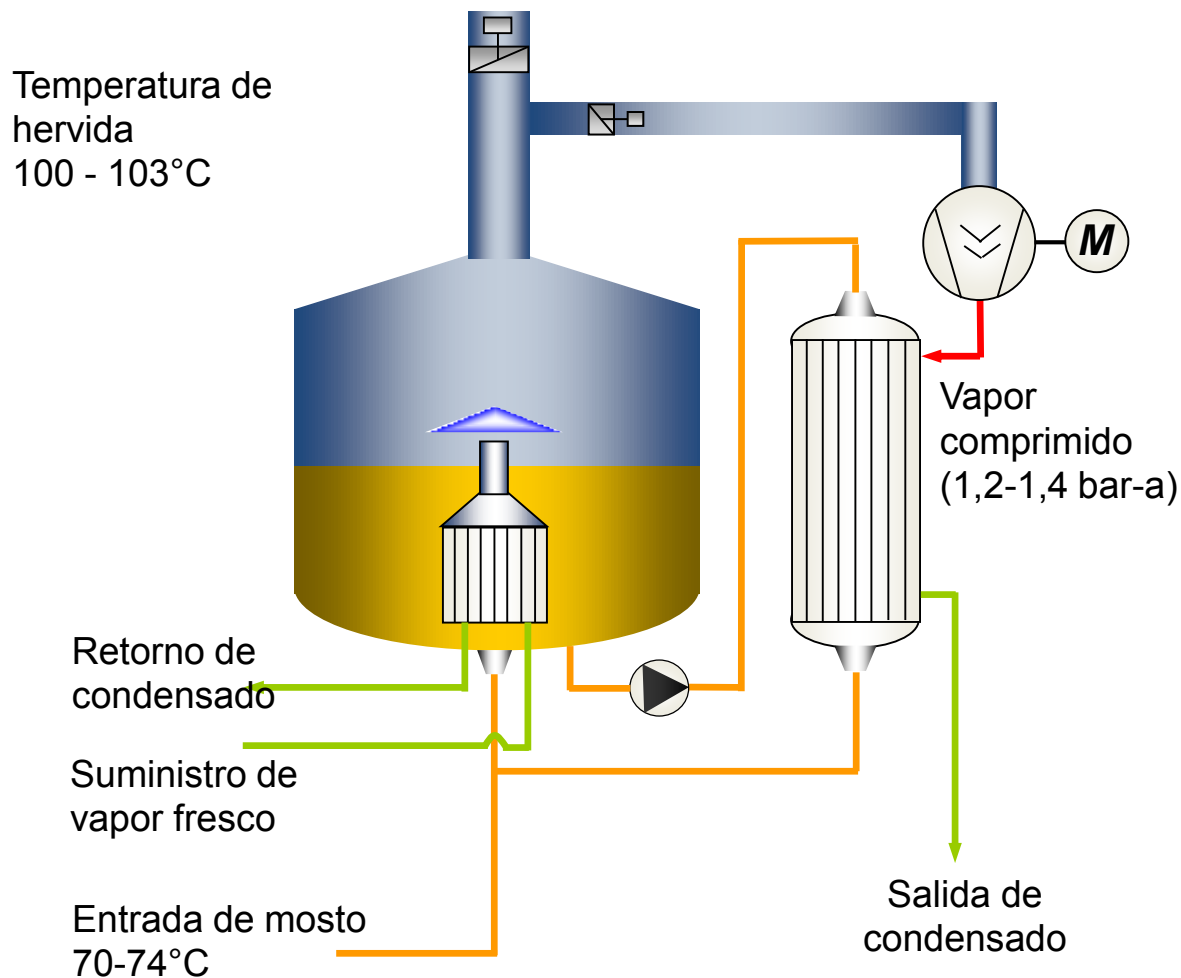
- Reducción del consumo de vapor fresco

■ *Desventajas:*

- Gran área de transferencia de calor necesaria debido a la baja presión del vapor generado en la paila
- Altos costos de inversión y mantenimiento
- Picos de consumo eléctrico
- Alta potencia requerida para la operación

Ahorro de energía en la hervida de mosto

Compresión mecánica del vapor

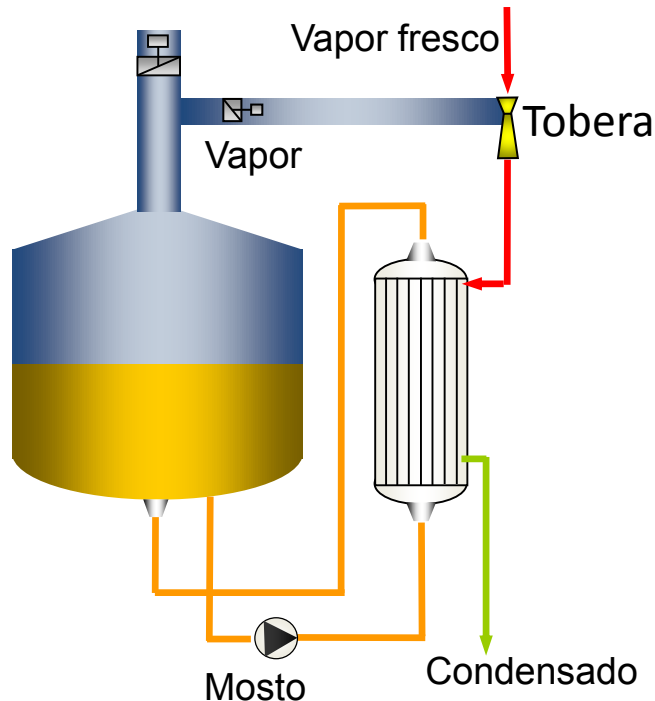


Con el cocedor interno ya instalado en la paila el mosto de la filtración es calentado hasta la temperatura de hervor. Luego de completada esta fase se requiere sólo un 5% de la energía térmica adicional para el proceso de hervida y generación de vapor.

Ahorro de energía en la hervida de mosto

Compresión térmica del vapor

El vapor fresco de la caldera (8-12 bar) es despresurizado al nivel del vapor generado en la hervida (presión atmosférica) en la tobera. En este proceso se convierte la presión en energía cinética (movimiento): el vapor fresco alcanza la velocidad del sonido por lo que arrastra el 60-80% del vapor de la paila por el efecto Venturi. Se produce una mezcla de vapor que se comprime a 1,4 bar para ofrecer una temperatura de 115°C.



■ *Ventajas:*

- Bajos costos de mantenimiento
- No presenta picos de consumo eléctrico

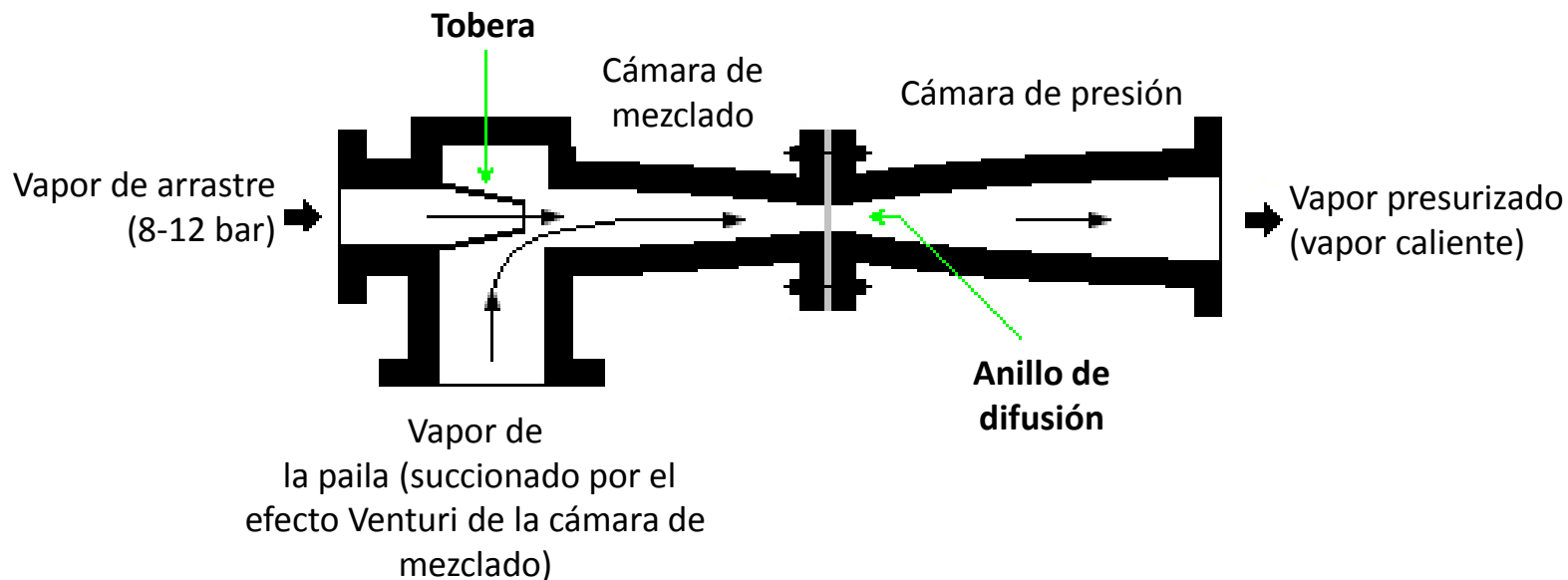
■ *Desventajas:*

- Se generan altos niveles de agua caliente
- Se requiere gran área de intercambio de calor
- Alta presión de vapor requerida

Ahorro de energía en la hervida de mosto

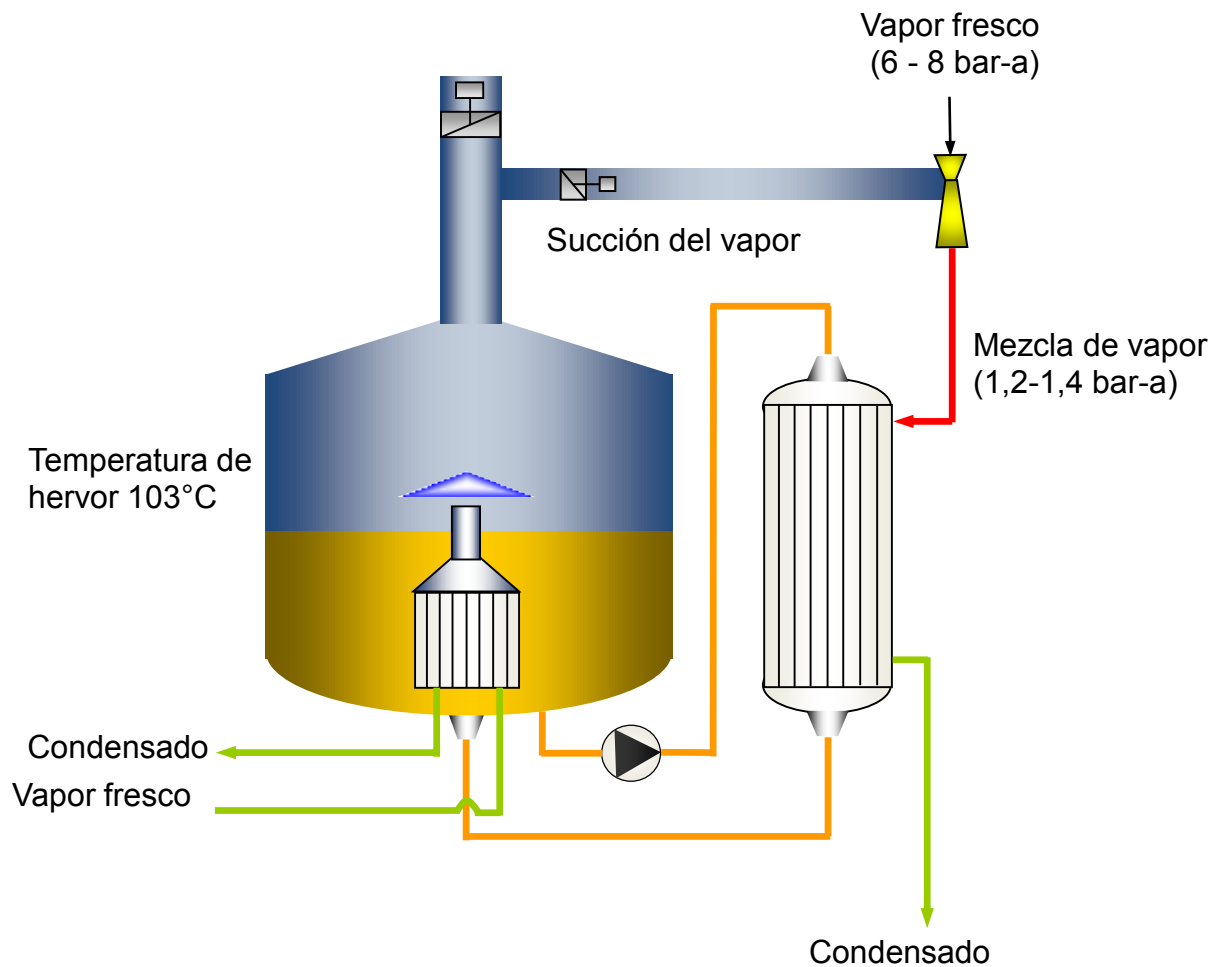
Compresión térmica del vapor

El vapor de arrastre succiona el vapor de la paila mezclándose ambos en la cámara de mezclado. Posteriormente la mezcla de vapor es comprimida ligeramente al pasar por la cámara de presión consiguiéndose una sobrepresión suficiente para calentar el mosto a unos 104°C (cocedor externo).



Ahorro de energía en la hervida de mosto

Compresión térmica del vapor

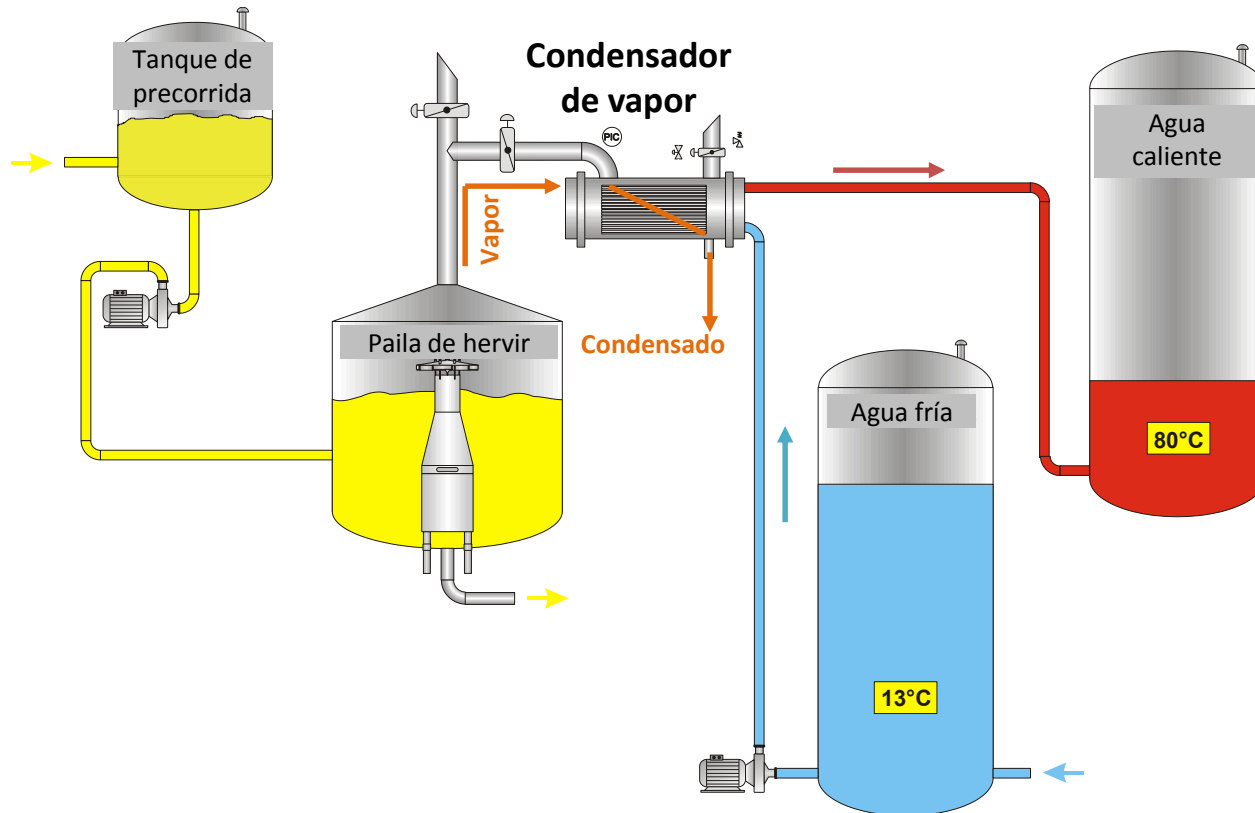


Este sistema es utilizado en cervecerías pequeñas que no puede costearse la inversión de instalar un compresor de vapor

Ahorro de energía en la hervida de mosto

Licuefacción del vapor

La licuefacción de un gas consiste en el cambio de estado de gas (vapor de la hervida) a líquido (condensado). Para ello es necesario aumentar la presión del gas o bajarle su temperatura hasta la condensación (o ambos procesos en combinación).



Para condensar el vapor se usa agua fría para producir agua caliente que puede usarse como:

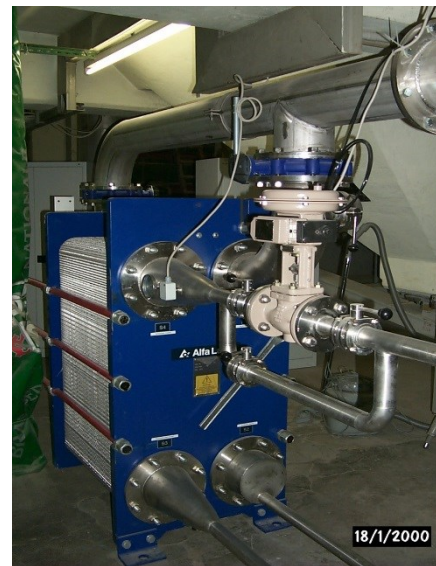
- *agua de proceso*
- *agua cervecvera*
- *agua de precalentamiento del mosto filtrado*

Ahorro de energía en la hervida de mosto

Condensador de vapor

Existen principalmente dos equipos para condensar el vapor:

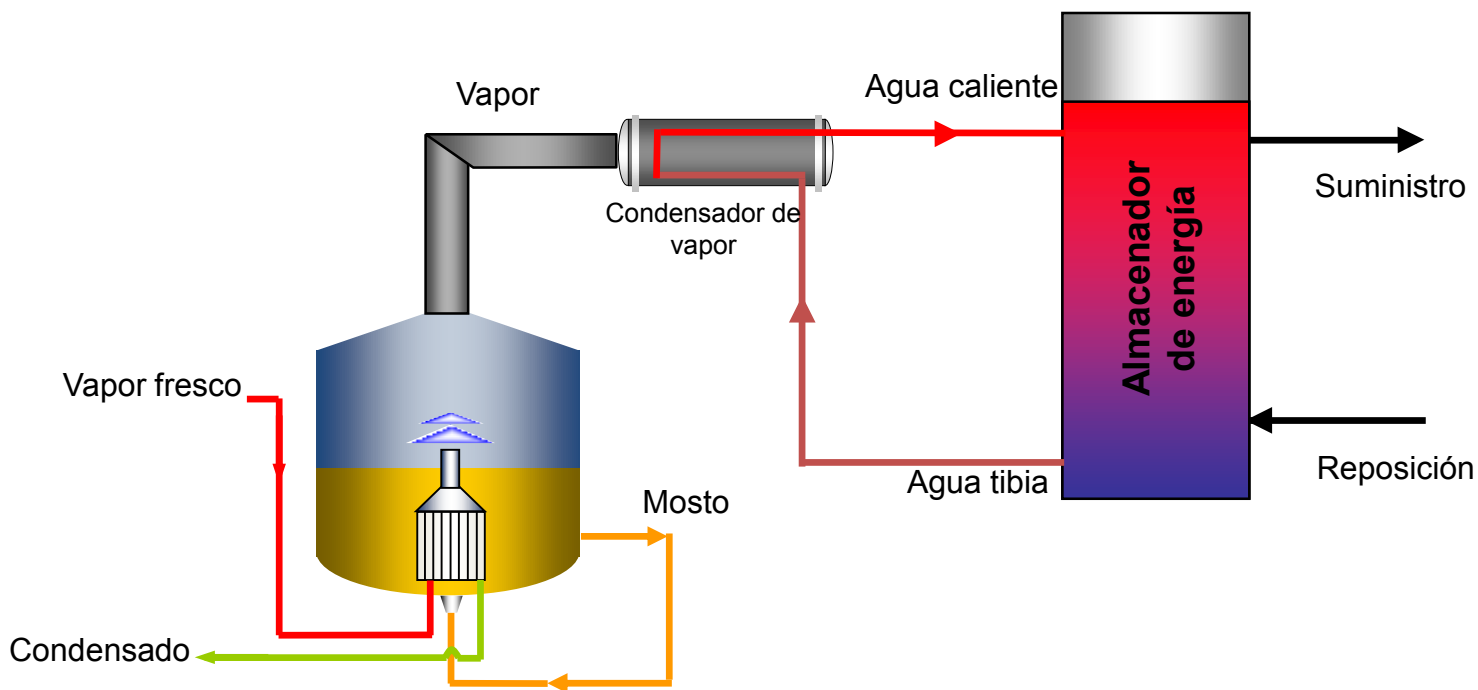
- *Intercambiador de tubos y coraza*: no genera contrapresión, es posible deaerar fácilmente
- *Intercambiador de placas*: la inversión es menor, pero puede generar contrapresión. Además es más difícil de limpiar que el intercambiador de tubos y coraza.



Ahorro de energía en la hervida de mosto

Almacenador de energía

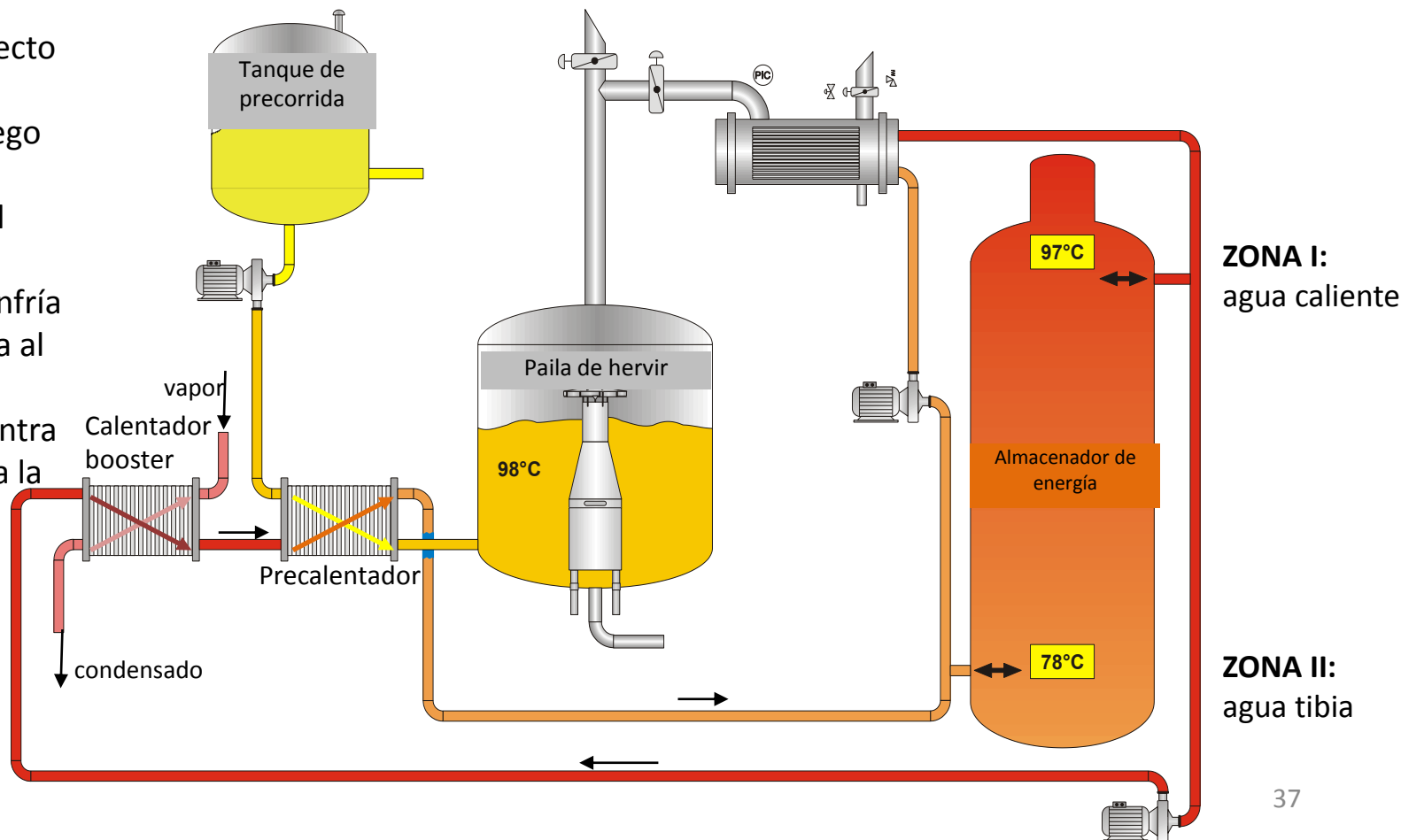
El almacenador de energía es un tanque horizontal que contiene simultáneamente agua caliente (parte superior) y agua tibia (parte inferior). Es posible mantener las dos fases de agua separadas por la diferencia de densidades generada por los distintas temperaturas: mientras menor es la temperatura, mayor es la densidad y viceversa.



Ahorro de energía en la hervida de mosto

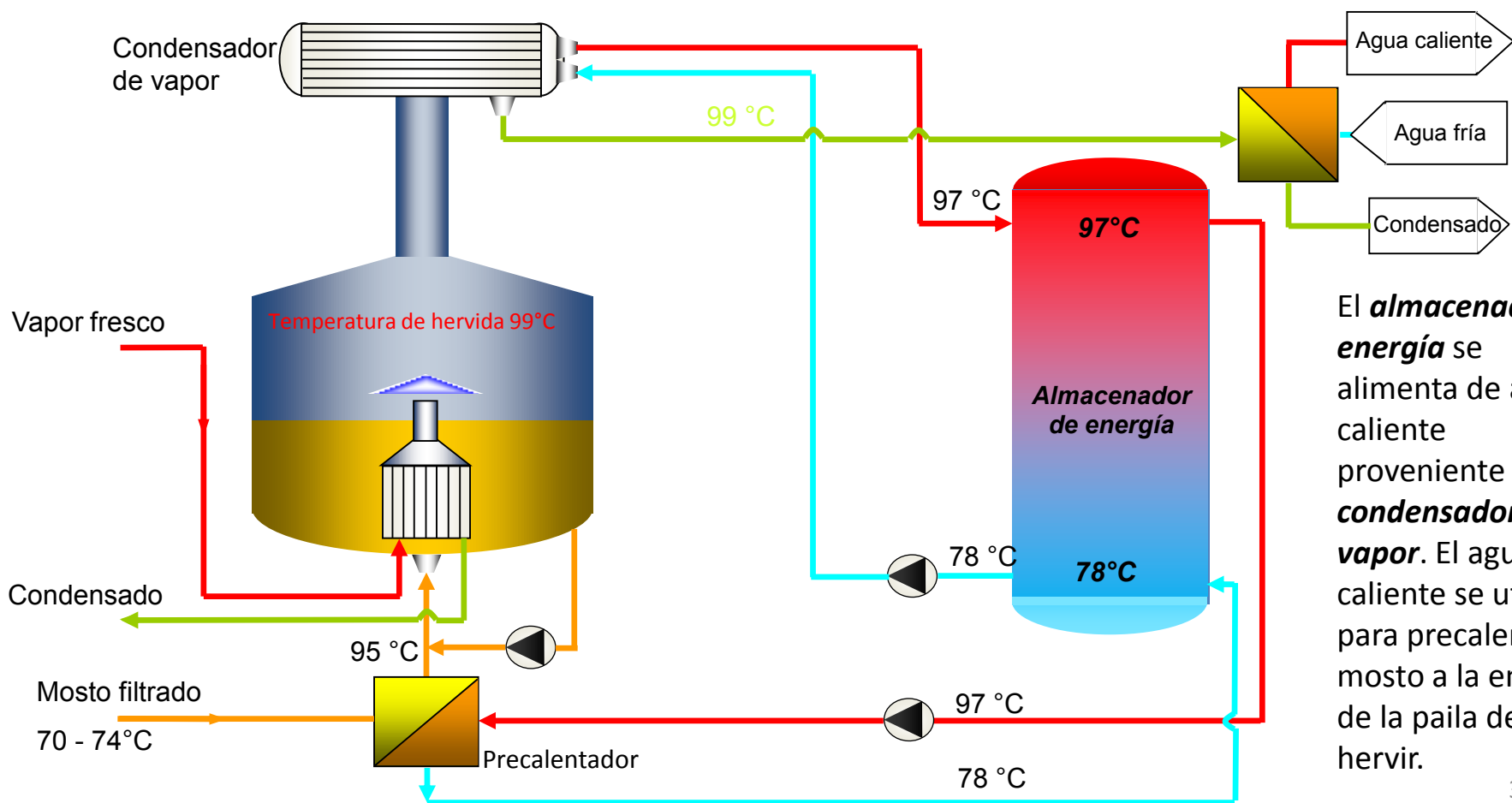
Almacenador de energía – combinación con el precalentador de mosto

El agua caliente es sobrecalentado mediante vapor (efecto booster) en el **Calentador** para luego servir de medio de calentamiento en el **Precalentador** de mosto. El agua se enfría hasta 78°C y retorna al **Almacenador de energía**. El mosto entra a la paila de hervir a la temperatura de ebullición.



Ahorro de energía en la hervida de mosto

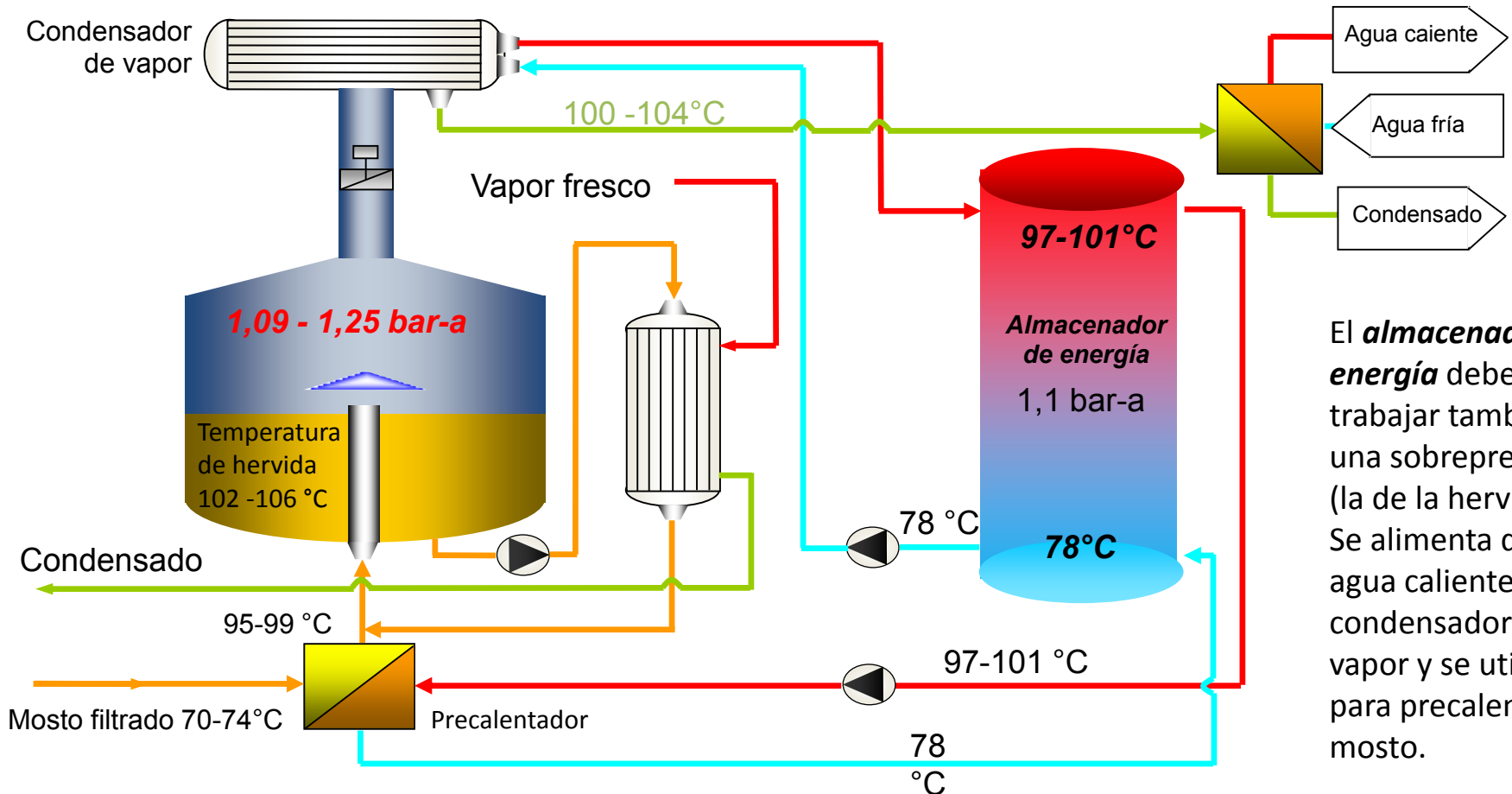
Almacenador de energía – sistema convencional de hervida (cocedor interno)



El **almacenador de energía** se alimenta de agua caliente proveniente del **condensador de vapor**. El agua caliente se utiliza para precalentar el mosto a la entrada de la paila de hervir.

Ahorro de energía en la hervida de mosto

Almacenador de energía –hervida a sobrepresión (cocedor externo)



El **almacenador de energía** debe trabajar también a una sobrepresión (la de la hervida). Se alimenta de agua caliente del condensador de vapor y se utiliza para precalentar el mosto.

Ahorro de energía en la hervida de mosto

Almacenador de energía – combinación de la compresión térmica con el almacenador de energía

