



**BOSCH**

Innovación para tu vida

## Guía de planificación de sistemas de calderas de vapor

Bosch Industrial Heat

**Planificar con profesionalidad  
y diseñar con eficiencia**





# Prefacio

Bebidas, alimentos, neumáticos, papel, calefacción urbana o medicamentos: casi todos los productos que utilizamos en la vida cotidiana moderna se fabrican con proceso de calor; prácticamente, todos los productos que utilizamos en la vida cotidiana moderna. En muchos casos, el calor se obtiene en forma de vapor de las calderas de Bosch<sup>1</sup> - Innovación para tu vida. La alta fiabilidad y longevidad de nuestros sistemas de calderas son el núcleo esencial de nuestra filosofía de producción y se consiguen gracias a nuestros altísimos estándares de calidad.

Ante el calentamiento global y la creciente escasez de recursos, nuestra exigencia es producir sistemas de calor de proceso altamente eficientes en colaboración con nuestros valiosos socios: planificadores, ingenieros de planta e instaladores y empresas de instalación. Conjuntamente, empleando componentes de sistemas para la recuperación de calor, la automatización e integración de energías renovables, protegemos el medio ambiente e importantes recursos. Gracias al ahorro de energía generado, los componentes adicionales se amortizan en muy poco tiempo y el ahorro de costes conseguido a partir de ese momento motiva tanto a los operadores como a los inversores.

La planificación y el diseño exacto de los sistemas, cada vez más complejos, suponen un reto y deben adaptarse perfectamente a los procesos conectados, las curvas de carga y los consumidores de vapor. Esta guía de planificación comunica los fundamentos de la planificación de sistemas de calderas de vapor; sin embargo, también va más allá al actuar como una herramienta de planificación interactiva que puede facilitar la planificación y ayudar a evitar errores. El documento también proporciona información a los operadores sobre cómo garantizar un funcionamiento seguro y eficiente y una larga vida útil.

Un agradecimiento especial a Tobias Lüpfer y Sebastian Weeger por la elaboración técnica y a Lutz Ehemann y Kristin Heininger por su implementación.



**Ingeniero diplomado (FH) Daniel Gosse MBA**

Director de Marketing y Academia

Bosch Termotecnología

Calor y electricidad comercial e industrial

---

<sup>1</sup> Anteriormente Loos International

# Contenidos

<b>Prefacio</b>	<b>3</b>	
<b>Introducción</b>	<b>7</b>	
<b>Planeación</b>	<b>11</b>	
1	Proceso de planificación de datos y preguntas básicas	17
2	Presión	27
3	Producción de vapor	35
4	Fuel	53
5	Instalación	59
6	Normativa	63
<b>Prevención de fallas</b>	<b>71</b>	
1	En la planeación	73
2	Durante la instalación	77
3	During operation	85
<b>Tecnología</b>	<b>98</b>	
1	Vapor	103
2	Caldera	115
3	Componentes	133
4	Cuarto de calderas	175
5	Periféricos	211
6	Producción	233
<b>Eficiencia</b>	<b>241</b>	
1	Básicos	243
2	Aumento de la eficiencia de combustión	261
3	Aumento de la eficiencia en el circuito del agua y del condensado	277
4	Aumento de la eficiencia de la caldera y del sistema	287
5	Combinación de procesos	303

---

<b>Productos</b>	<b>306</b>	
1	Resumen de productos de calderas de vapor	309
2	Calderas de vapor	311
3	Calderas de recuperación de calor y recuperación de calor residual	333
4	Módulos para calderas de vapor	341
5	Módulos de alimentación para calderas	361
6	Controles del sistema	367
<b>Herramientas</b>	<b>377</b>	
1	Símbolos	379
2	Conversión	387
3	Combustibles	391
4	Principios básicos del vapor de agua	397
5	Sistemas de vapor	405
6	Otros	419





<b>Navegación</b>	Información general	Asistencia de cálculos	Asistencia de diseño	Tablas y valores	Exoneración de responsabilidad
-------------------	---------------------	------------------------	----------------------	------------------	--------------------------------

# Introducción

## Navegación

Para facilitar y agilizar la navegación por los principales capítulos y subcapítulos con un simple clic en cada página. Al hacer clic en el capítulo principal, aparecen los subcapítulos.

Los usuarios de la versión impresa pueden consultar rápidamente los capítulos, precedidos en cada caso por un resumen detallado de los subcapítulos correspondientes.

<b>Introducción</b>	Planeación	Prevención de fallas	Tecnología	Eficiencia	Productos	Herramientas
Navegación	Información general	Asistencia de cálculos	Asistencia de diseño	Tablas y valores	Exoneración de responsabilidad	

**Fig. 1** Capítulo principal y subcapítulo

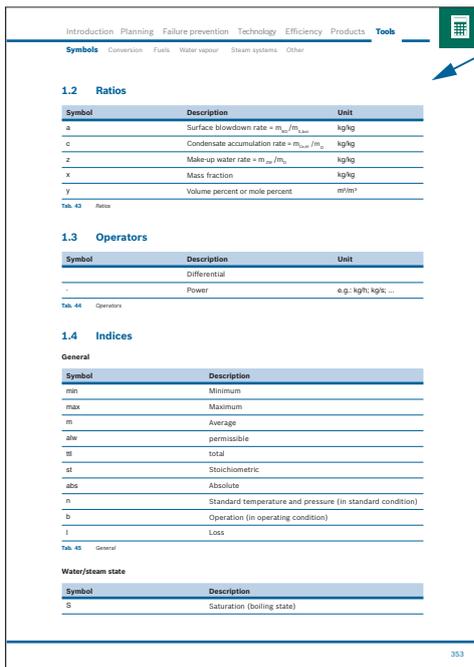
<b>Introducción</b>	Planeación	Prevención de fallas	Tecnología	Eficiencia	Productos	Herramientas
Navegación	Información general	<b>Asistencia de cálculos</b>	Asistencia de diseño	Tablas y valores	Exoneración de responsabilidad	

**Fig. 2** Navegación por los capítulos y subcapítulos principales

## Información general

Las referencias a información adicional o explicaciones de los términos utilizados figuran en el margen lateral del documento. Para acceder a la información en la versión digital, pulse sobre ella, para la versión impresa pueden encontrar el número de página en la referencia.

→ Chapter: tools, page353



Introduction Planning Failure prevention Technology Efficiency Products **Tools**

Symbols Conversion Fuels Water vapour Steam systems Other

### 1.2 Ratios

Symbol	Description	Unit
a	Surface blowdown rate = $\dot{m}_{blow} / \dot{m}_{in}$	kg/kg
c	Condensate accumulation rate = $\dot{m}_{acc} / \dot{m}_{in}$	kg/kg
z	Make-up water rate = $\dot{m}_{mw} / \dot{m}_{in}$	kg/kg
x	Mass fraction	kg/kg
y	Volume percent or mole percent	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>

Tab. 43 Ratios

### 1.3 Operators

Symbol	Description	Unit
-	Differential	
.	Power	e.g.: kWh; kJ/h; ...

Tab. 44 Operators

### 1.4 Indices

General

Symbol	Description
min	Minimum
max	Maximum
m	Average
per	permissible
tot	total
st	Stoichiometric
abs	Absolute
n	Standard temperature and pressure (in standard condition)
o	Operation (in operating condition)
l	Loss

Tab. 45 General

### Water/steam state

Symbol	Description
S	Saturation (boiling state)

353

**Fig. 3** Cuadro de referencia

En diversos puntos se ofrecen referencias a informes técnicos. Puede encontrarlos en línea en:

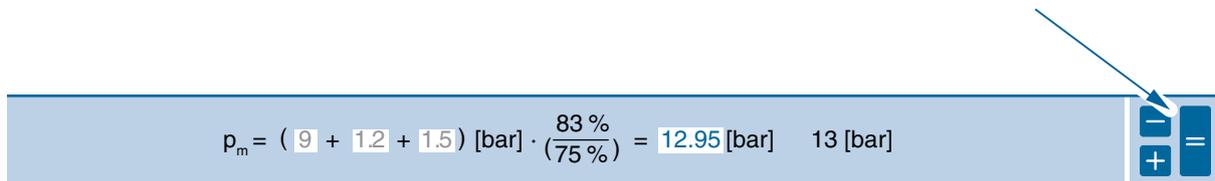
**[www.bosch-industrial.com/technicalreports](http://www.bosch-industrial.com/technicalreports)**

Puede encontrar la información técnica correspondiente en línea en:

**[www.bosch-industrial.com/planningdocuments](http://www.bosch-industrial.com/planningdocuments)**

## Asistencia de cálculos

Las fórmulas necesarias para el diseño en la versión digital son interactivas. Cuando se introducen los valores del sistema, el resultado se calcula y se muestra inmediatamente. Esto significa que no tiene que escribirlos, un proceso que requiere mucho tiempo y que, además, es propenso a errores.



$$p_m = (9 + 1.2 + 1.5) [\text{bar}] \cdot \left(\frac{83\%}{75\%}\right) = 12.95 [\text{bar}] \quad 13 [\text{bar}]$$

Fig. 4 Interactive formula

## Asistencia en el diseño por expertos de Bosch

Al principio del capítulo de Planificación se incluyen formularios, uno para consultas rápidas con datos básicos y otro para consultas avanzadas de expertos, en las que se puede facilitar fácilmente información técnica y de costes detallados. Haciendo clic en el botón correspondiente, puede enviar los formularios por correo electrónico, imprimirlos o guardarlos como archivo PDF. Una vez recibido el formulario, recibirá rápidamente una oferta vinculante o la información técnica necesaria de nuestros expertos en calderas.

→ Planeación – Capítulo 1: Proceso de planificación de datos y preguntas básicas, página 17

## Tablas y valores

El capítulo de Herramientas de la guía de planificación contiene muchas tablas y diagramas útiles que incluyen valores que se necesitan con frecuencia durante la fase de planificación. Para mayor comodidad, están interconectados en el capítulo o fórmula correspondiente.

→ Herramientas, página 377

## Exoneración de responsabilidad

Se ha puesto el máximo cuidado en garantizar la exactitud de la información técnica facilitada en este documento. No obstante, si detecta algún error o tiene algún comentario sobre el contenido, agradeceríamos que nos lo comunicara. Bosch no se hace responsable de la exactitud del contenido del documento ni de los daños derivados de su utilización. En caso de duda, consulte siempre las instrucciones de uso del fabricante de la caldera, ya que son las definitivas. Si ya no dispone de las instrucciones de funcionamiento de su sistema de caldera Bosch/Loos, podemos proporcionarle una copia de nuestro archivo:

**info@bosch-industrial.com**





# Planeación

<b>1</b>	<b>Proceso de planificación de datos y preguntas básicas</b>	<b>17</b>
1.1	Preguntas durante la planificación	17
1.2	Registro de datos básicos para el sistema de calderas de vapor	20
1.3	Recording of additional data for steam boiler system	22
<b>2</b>	<b>Presión</b>	<b>27</b>
2.1	Presión media de funcionamiento	27
2.2	Presión de funcionamiento máxima admisible	31
<b>3</b>	<b>Producción de vapor</b>	<b>35</b>
3.1	Cálculo del consumo	36
3.2	Análisis del consumo	47
3.3	Definición de la potencia de la caldera	49
<b>4</b>	<b>Combustible</b>	<b>53</b>
4.1	Fuelóleo	54
4.2	Gas natural	55
4.3	Criterios de selección entre fuelóleo y gas natural	56
4.4	Otros combustibles	57
<b>5</b>	<b>Instalación</b>	<b>59</b>
5.1	Cuarto de instalación	59
5.2	Condiciones de instalación	62
<b>6</b>	<b>Normativa</b>	<b>63</b>
6.1	Fabricación	65
6.2	Emisiones e inmisiones	67
6.3	Sistemas de combustión	68
6.4	Autorización	69
6.5	Funcionamiento	69

## Planeación

El requisito previo más importante para diseñar y dimensionar un sistema de calderas de vapor es que se hayan registrado, documentado y evaluado los valores máximos y mínimos de todos los parámetros correspondientes. Además del registro y la evaluación de los datos existentes del sistema, la planificación de previsiones es igualmente fundamental. Esta tarea orientada al futuro, que debe realizarse conjuntamente con el operador del sistema, el responsable de la planificación, el ingeniero de la planta y el fabricante de la caldera, es la base para un funcionamiento satisfactorio y a largo plazo de los sistemas de calderas de vapor. Los componentes individuales de la sala de calderas elegidos en esta fase deben reflejar un equilibrio adecuado entre los costes de inversión y los costes de funcionamiento posteriores de un sistema de calderas de vapor. En este caso, es especialmente fundamental garantizar que los cambios operativos que se produzcan en el futuro también puedan ser cubiertos por los componentes del sistema de una sala de calderas disponibles en ese momento y que los nuevos componentes puedan integrarse lo más fácilmente posible en las partes existentes del sistema.

En este capítulo se explican los parámetros generales más relevantes de un sistema de calderas de vapor en relación con la presión de vapor, la potencia de vapor, el combustible y las condiciones del marco legal.

Además de estas condiciones técnicas generales, el funcionamiento económico y compatible con el medio ambiente del sistema de calderas es, por supuesto, el criterio decisivo para su selección e instalación. Los componentes disponibles de la caldera y del sistema para mejorar la eficiencia se tratan en el capítulo de Eficiencia.



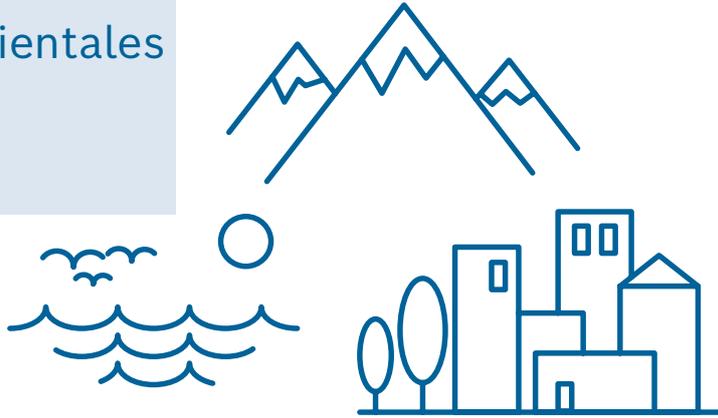


### Factores influyentes en la planificación

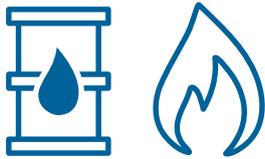
- Agua
- Condensado
- Combustible
- Clientes
- Operador
- Ambiente
- Instalación
- Regulación legales

### Factores medioambientales

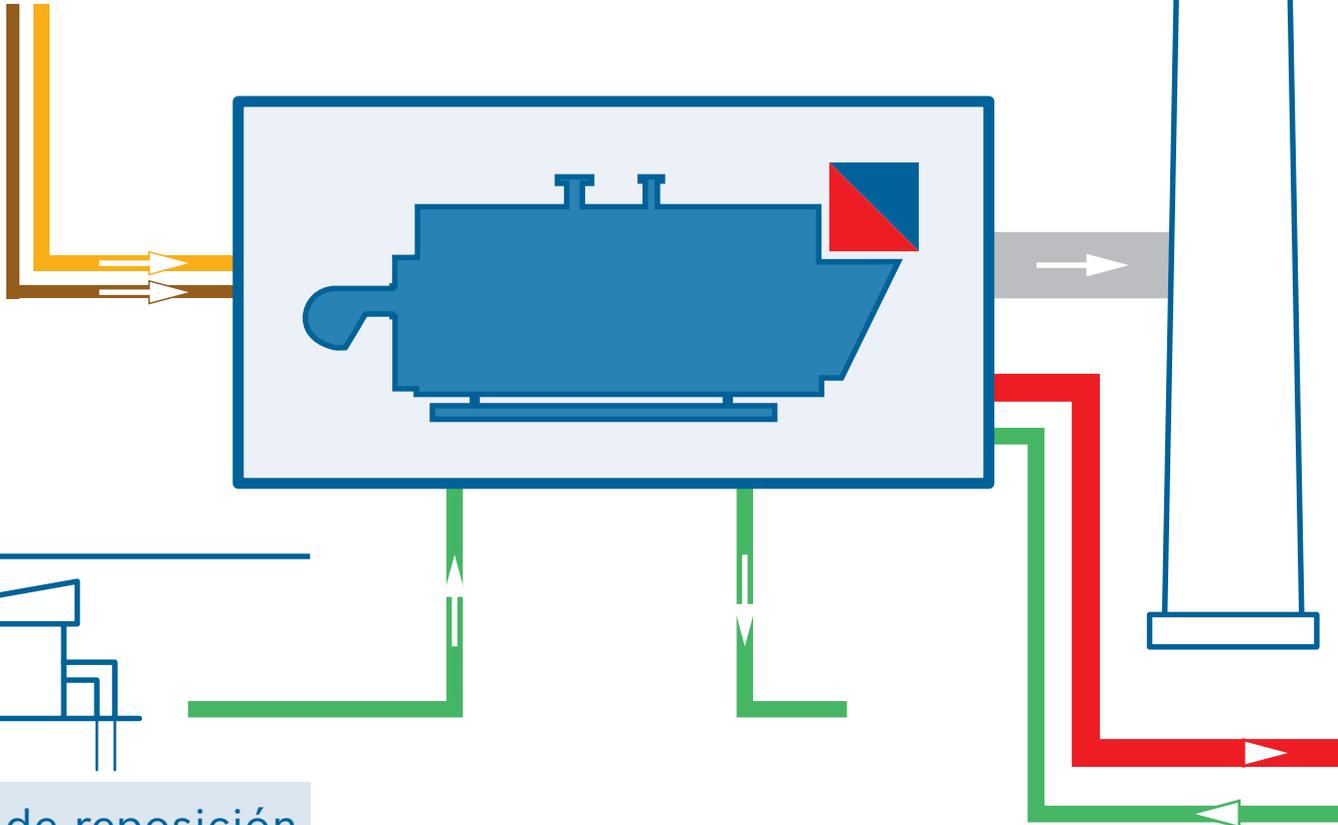
- Temperatura exterior
- Humedad
- Presión atmosférica



### Combustible



- Disponibilidad
- Propiedades y estado
- Seguridad del suministro



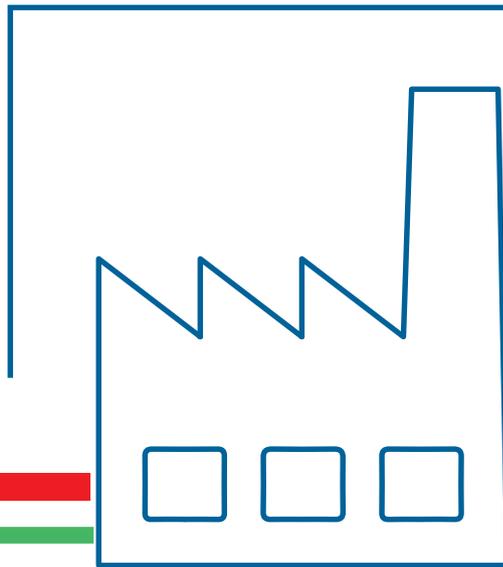
### Agua de reposición

- Dureza
- Contenido de sal



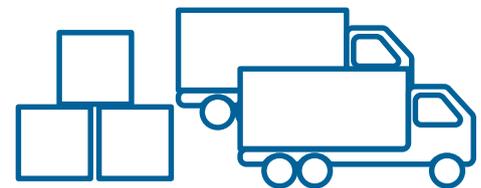
## Normativa legal

- País de instalación
- Autorización
- Funcionamiento
- Emisiones
  - Óxido de nitrógeno
  - Sonido



## Usuario

- Presión de funcionamiento
- Producción de vapor
  - Carga mínima
  - Carga normal
  - Carga máxima
  - Modificación de la carga
- Calidad del vapor
  - Humedad residual
  - Recalentamiento



## Condensación

- Cantidad
- Temperatura
- Presión
- Valor pH
- Contaminación



## Cliente/Operario

- Seguridad de suministro
- Ampliabilidad
- Eficiencia energética
- Requisitos de emisiones
- Facilidad de mantenimiento
- Control del proceso
  - Interfaz con el sistema de automatización
  - Monitorización remota
  - Adquisición de valores medidos
  - Comprobación del sistema





# 1 Proceso de planificación de datos y preguntas básicas

## 1.1 Preguntas durante la planificación

El resumen de preguntas que figura a continuación está pensado para ayudar en la planificación y el diseño del suministro de vapor. Sirve como orientación al inicio del proceso de planificación y como base para la reflexión antes de la conclusión de la planificación. Aunque la lista no es en absoluto exhaustiva, los fallos que se repiten con frecuencia pueden evitarse respondiendo a las preguntas de forma coherente y sistemática.

Si al final de la planificación no se han aclarado una o varias de las preguntas sobre temas interrelacionados, se insertan referencias a capítulos que contienen información pertinente después de las preguntas, a modo de ayuda.

### 1.1.1 Presión de vapor

- ¿Se han utilizado márgenes de seguridad innecesariamente altos al definir la presión de funcionamiento media? Sólo deben emplearse márgenes de seguridad de presión mayores al definir la presión de funcionamiento máxima admisible.

→ Planeación – Capítulo 2: Presión, página 27

### 1.1.2 Demanda de vapor

- ¿Se han tenido en cuenta todos los tipos de consumidores (los existentes y los previstos a medio plazo, el consumo interno del sistema de calderas) y se han estimado o calculado las pérdidas de calor (tuberías, válvulas, recipientes)?
- ¿Son transparentes los márgenes de seguridad previstos para la producción de vapor? Deben evitarse las multiplicaciones de los márgenes de seguridad en distintos puntos.
- ¿Se ha realizado un análisis del consumo? ¿Se conoce la simultaneidad del consumo de vapor? ¿Cuál es la producción máxima real de vapor que necesitan simultáneamente los consumidores?
- ¿Se desprende del análisis de consumo, cómo y por qué se produce la distribución entre las unidades generadoras?
- ¿Dispone el sistema de calderas configurado de un rango de regulación suficientemente amplio para atender todas las condiciones de carga que se producen con frecuencia, sin que se produzcan ciclos en el sistema de combustión?
- ¿Cuál es el perfil de carga o el consumo anual de vapor (para calcular con precisión la amortización de las medidas adicionales de recuperación de calor)?

→ Planeación – Capítulo 3: Producción de vapor, página 35

### 1.1.3 Calidad de vapor

- ¿El vapor debe cumplir requisitos específicos (por ejemplo, contenido de humedad residual, contacto con alimentos, vapor sobrecalentado)?

→ Tecnología – Capítulo 1: Vapor, página 103

#### 1.1.4 Agua y condensación

- ¿Se dispone de un análisis del agua? ¿Hay que tener en cuenta, por ejemplo, las fluctuaciones estacionales de la calidad del agua?
- ¿Se ha realizado un análisis para determinar qué tratamiento de agua es el más sensato? En términos de rentabilidad, ¿se ha comparado un descalcificador con el tratamiento del agua por ósmosis? ¿Tiene sentido utilizar un analizador automático de agua?
- ¿Es más adecuado un sistema de desaireación parcial o total?
- ¿Cuánta agua condensada puede retornar y en qué condiciones en relación con la presión/temperatura?
- ¿Existe riesgo de que el agua condensada se contamine con grasa/aceite u otros medios perjudiciales para el sistema de la caldera (por ejemplo, debido a fugas en el intercambiador de calor)? Si la respuesta es afirmativa, es necesario un sistema de control de condensación.

→ Tecnología – Capítulo 4: Cuarto de calderas, página 175

#### 1.1.5 Combustible

- ¿Qué combustibles pueden usarse en el lugar?
- ¿Se conoce la calidad del combustible y su rango de fluctuación?
- ¿Se ha asegurado la presión del caudal de gas? Si la presión del flujo de gas disminuye cuando el consumo de gas es elevado, pueden surgir problemas. Las desviaciones del valor de diseño y de la presión real del flujo de gas pueden acarrear costes.
- ¿Debe emplearse aceite combustible pesado u otros combustibles muy viscosos o sulfurosos? Puede ser necesario un equipo especial para ello (por ejemplo, precalentamiento de aceite o economizador suministrado como versión independiente con derivación de gases de escape).

→ Planeación – Capítulo 4: Combustible, página 53

#### 1.1.6 Eficiencia

- ¿Qué importancia tiene la eficiencia energética y cuál es el plazo máximo de amortización para el que son viables las medidas de ahorro energético?
- ¿Se han previsto medidas de rendimiento y se ha integrado de forma razonable la recuperación del calor residual? ¿Se ha comprobado su eficacia y el ahorro de recursos?

→ Eficiencia – Capítulo 1: Básicos, página 243

#### 1.1.7 Operador

- ¿Hasta qué punto son rigurosos los requisitos de seguridad de suministro? ¿Se requiere una configuración de caldera parcial o totalmente redundante? ¿Debe ser posible quemar un combustible sustitutivo mediante un sistema de combustión de varios combustibles?
- ¿Es probable que se amplíe el suministro de vapor en los próximos años? Si la respuesta es afirmativa, la capacidad del suministro de agua de alimentación debería, por ejemplo, diseñarse teniendo en cuenta las necesidades futuras y prever espacio suficiente en la sala de calderas.
- ¿Cuál es el grado de disponibilidad y el nivel de cualificación del personal de operación? ¿Qué aplicaciones de automatización tendrían sentido?



- ¿Debería haber una conexión a un sistema de automatización centralizado?

→ Planeación – Capítulo 3: Producción de vapor, página 35

### 1.1.8 Ubicación de la instalación

- ¿Se encuentra la instalación en una zona costera?
- ¿La caldera está instalada en una zona sísmológica y debe estar especialmente anclada/protegida?
- ¿Existen requisitos especiales en materia de emisiones sonoras o contaminantes (por ejemplo, debido a la proximidad de una zona residencial o al emplazamiento en una zona de protección del aire o el agua)?

→ Planeación – Capítulo 5: Instalación, página 59

### 1.1.9 Sala de calderas

- ¿Son las aberturas disponibles suficientemente grandes para el transporte hacia el interior?
- ¿Es suficiente la capacidad de carga de los cimientos para el sistema lleno de agua?
- ¿Se ha previsto un número adecuado de aberturas de suministro y extracción de aire en lugares apropiados?
- ¿Se han instalado los botones de parada de emergencia necesarios dentro y fuera de la sala de calderas?
- ¿Se ha previsto espacio suficiente? ¿Para el acceso a las aberturas de inspección (del lado del agua y de los gases de combustión), el acceso a la caldera, la extracción de componentes (quemador), por ejemplo?

→ Planeación – Capítulo 5: Instalación, página 59

### 1.1.10 Tuberías

- ¿Es suficiente la capacidad de carga de paredes y techos para absorber la presión de las tuberías?
- ¿Se han planificado todas las tuberías con tamaños suficientes? Esto se aplica especialmente a las tuberías de escape de las válvulas de seguridad, las tuberías de ventilación, las tuberías de evacuación de vapores y las tuberías de condensación.
- ¿Se evitan las combinaciones prohibidas?
- ¿Se colocan las tuberías de evacuación de vapor con pendiente y se drenan correctamente?
- ¿Es viable el uso de elementos de aislamiento acústico?

→ Tecnología – Capítulo 5: Periféricos, página 211

### 1.1.11 Normativa

- ¿Se han tenido plenamente en cuenta las normas y reglamentaciones pertinentes durante la planificación?
- En relación con las leyes sobre emisiones y protección del medio ambiente, especialmente los gases de combustión y el agua.
- En relación con la normativa de homologación o el permiso de explotación. ¿Se consulta a la autoridad competente en materia de permisos en una fase temprana y se presenta a tiempo la solicitud de autorización? ¿Se informa a las autoridades competentes?
- En relación con las obligaciones de los operadores, especialmente en materia de salud y seguridad en el trabajo y seguridad de funcionamiento. ¿Se ha realizado una evaluación de riesgos del sistema de calderas?
- En relación con la participación oportuna de los organismos notificados autorizados.

→ Planeación – Capítulo 6: Normativa, página 63

## 1.2 Registro de datos básicos para el sistema de calderas de vapor

Durante la planificación práctica del sistema, a menudo se necesita rápidamente una indicación aproximada de costes o modelos 3D antes de elaborar una solución detallada. Para ello, ponemos a su disposición un formulario con el que podrá enviar una solicitud a nuestros ingenieros de ventas de forma rápida y sencilla.

Solamente tiene que rellenar el formulario y enviárnoslo:

- por correo electrónico a [sales@bosch-industrial.com](mailto:sales@bosch-industrial.com) o
- por fax al **+49 9831 5692957**.



## Planificación de sistemas de calderas – Básicos

### Resumen de los parámetros más importantes

**Producción de vapor:** indica cuántos kilogramos o toneladas de vapor se necesitan por hora. Atención: Al calcular el vapor necesario, debe tenerse en cuenta el consumo interno de vapor.

Producción del sistema = potencia de la caldera - uso propio

Producción requerida del sistema:  kg/hora

El uso propio por el tratamiento del agua de alimentación suele oscilar entre el 5 y el 20%.

Puede reducirse considerablemente mediante la recuperación del calor residual.

¿Los picos de carga se producen solamente ocasionalmente o la instalación funciona a plena carga durante largos periodos de tiempo?

En caso necesario, el tamaño de la caldera puede reducirse mediante un acumulador de vapor (ahorro de costes).

- Picos de carga poco frecuentes
- Tiempos de carga completa más largos

**Presión:** el criterio más importante es la presión media de funcionamiento. La presión de seguridad de la caldera es siempre superior a la presión de funcionamiento.

Presión media de funcionamiento:  bar

**Combustible:** Dependiendo del combustible y de las condiciones límite, son adecuadas diferentes combinaciones de quemador/cámara de combustión. Los quemadores multicomcombustible son una ventaja cuando las exigencias de disponibilidad de la instalación son elevadas o cuando, por ejemplo, se dispone de biogás.

#### Combustible principal:

- Gas natural  Petróleo ligero  Etanol
- H  L  Petróleo pesado  Grasa animal
- Biogás  Diesel

#### Fuentes externas de calor residual

- sí  no

 Enviar consulta

 Imprimir

### 1.3 Registro de datos adicionales para el sistema de caldera de vapor

Una descripción más detallada del sistema requerido permite determinar con precisión el precio y el alcance técnico. Por eso, además de la versión simplificada, hemos preparado una versión más completa del formulario para expertos. Con la información facilitada en este formulario, podemos proporcionar documentación ampliada y datos en 3D directamente con la cotización.

Basta con rellenar el formulario y enviárnoslo:

- por correo electrónico a **sales@bosch-industrial.com** o
- por fax al **+49 9831 5692957**.



## Planificación ampliada del sistema de calderas I

El sistema periférico del generador de vapor influye decisivamente en los costes de energía, agua dulce, sistema, productos químicos y mantenimiento.

**Cantidad de vapor:** a la hora de dimensionar la caldera de vapor debe tenerse en cuenta la cantidad de vapor que necesita para calentar el agua de alimentación y para la desaireación, con el fin de suministrar suficiente vapor al sistema o sistemas. Sin embargo, en la mayoría de los casos las calderas están sobredimensionadas, lo que genera costes innecesarios. En algunos casos, una caldera mucho más pequeña (con un precio más favorable) será suficiente cuando se utilicen acumuladores de vapor.

Cantidad máxima de vapor necesaria:  kg/hour  
 alternativa:  BTU

**Opcional: cantidad de vapor incluido uso propio:**  kg/hour

¿Picos de carga a corto plazo que puede compensar un acumulador de vapor?  Sí, Detalles:   
 No

**Vapor:** existen muchos tipos diferentes de vapor. Dependiendo de la aplicación, el vapor debe cumplir determinados requisitos químicos o tener un contenido de humedad residual definido.

**Características del vapor:** Presión media de funcionamiento:  bar

Vapor saturado      Contenido de humedad residual:  %  
 Desempañador requerido (a partir de un contenido de humedad residual < 3%)

Vapor sobresaturado      Temperatura:  °C

Vapor está en contacto, por ejemplo, ¿con alimentos?  Sí, Detalles:   
 No

**Condiciones de instalación y funcionamiento:** a legislación local del país de instalación y las condiciones ambientales cuando la caldera está en funcionamiento influyen en el diseño de la caldera y del sistema de combustión.

¿Conoces los detalles?

País de instalación:       Altura sobre el nivel del mar:  m

Temperatura min. en invierno  °C      máx. en verano  °C

¿Instalación en exterior?  Sí  No       Instalación en contenedor (Aislamiento impermeable requerido)

Voltaje        Fases       Frecuencia  Hz

## Planificación ampliada del sistema de calderas II

Menores costes de adquisición, mayor eficiencia y mayor fiabilidad son solo algunas de las ventajas de un diseño detallado.

**Gases de combustión** Valor permitido NO<sub>x</sub>  mg/mn<sup>3</sup>  Valor desconocido

### Combustible:

Gas Natural	Petróleo	Otros
<input type="checkbox"/> Gas natural H <input type="checkbox"/> Gas natural L <input type="checkbox"/> GLP Número de gas: <input type="text"/> <input type="checkbox"/> Propano <input type="checkbox"/> Butano <input type="checkbox"/> Propano-Butano Presión del flujo de gas <input type="text"/> mbar Valor calorífico neto: <input type="text"/> kWh/mn <sup>3</sup> Precio del gas: <input type="text"/> €/m <sup>3</sup>	<input type="checkbox"/> Fuleóleo, extra ligero (EL) <input type="checkbox"/> Fuleóleo, bajo en azúfre (SA) <input type="checkbox"/> Fuleóleo medio/pesado Contenido de azúfre <input type="text"/> % Valor calorífico neto: <input type="text"/> kWh/kg <input type="checkbox"/> Precalentamiento de aceite disponible Viscosidad del <input type="text"/> mm <sup>2</sup> /s A temperatura: <input type="text"/> °C Precio del gas: <input type="text"/> €/kg	<input type="checkbox"/> Grasa animal <input type="checkbox"/> Aceite de pescado <input type="checkbox"/> Etanol <input type="checkbox"/> Biogás <input type="checkbox"/> Gas residual <input type="checkbox"/> Otro <input type="text"/>

### Sistemas de combustión de varios combustibles: combustible adicional como aditivo

Biogás Sulfuro de hidrógeno:  mg/mn<sup>3</sup> Metano:  %  
 Gas residual  
 Otros gases de combustión Propiedades:   
 Otros aceites/grasas/... Descripción:   
 Disponible continuamente Cantidad:   Disponible todo el año

### Aprovechamiento del calor residual: de gases de combustión, de módulos de cogeneración, turbinas de gas, calor residual de fuentes externas, etc.

Gases de combustión del módulo CHP  Gases de combustión de turbinas de gas  Otros gases de combustión  
 Caudal de masa:  Kg/h Temperatura:  °C  
 Pérdida de presión admitida:  mbar

### Aprovechamiento del agua de condensación a plena carga (potencia nominal)

Libre de oxígeno	Oxigenado	Condensado de alta presión
Cantidad: <input type="text"/> Kg/h	Cantidad: <input type="text"/> Kg/h	Cantidad: <input type="text"/> Kg/h
Presión: <input type="text"/> bar	Presión: <input type="text"/> bar	Presión: <input type="text"/> bar
Temperatura: <input type="text"/> °C	Temperatura: <input type="text"/> °C	Temperatura: <input type="text"/> °C



## Planificación ampliada del sistema de calderas III

El uso propio del sistema puede reducirse drásticamente utilizando calor residual.

**Recuperación de calor residual:** se pueden recuperar grandes cantidades de calor. Los flujos másicos que desprenden calor suelen ser los gases de combustión, las aguas residuales calientes y los vapores de escape. El calor es absorbido por el agua de alimentación, el agua de reposición, el agua de proceso o el aire de combustión.

Para ello se dispone de las siguientes medidas:

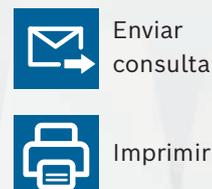
- |   |   |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Economizador (intercambiador de calor de gases de combustión)                | <input type="checkbox"/> Intercambiador de calor de agua de purga de superficie                                   |
| <input type="checkbox"/> Intercambiador de calor de condensación                                      | <input type="checkbox"/> Enfriador de vapores de escape   |
| <input type="checkbox"/> Refrigerador del agua de alimentación (aumenta la eficacia del economizador) | <input type="checkbox"/> Control de la combustión O <sub>2</sub> /CO (reduce las pérdidas de gases de combustión) |
| <input type="checkbox"/> Sistema de precalentamiento del aire (precalienta el aire de combustión)     |   |

**Reducir los costes energéticos:** en los sistemas antiguos, el ventilador del quemador y las bombas suelen funcionar continuamente tanto a carga parcial como a plena carga. Los controles de velocidad permiten evitar hasta un 75% del consumo.

Ventilador de aire de combustión de velocidad controlada:	Bombas de velocidad controlada:
<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No

**Propiedad y estado del agua dulce:** la propiedad y el estado del agua dulce determinan la tasa de descarga superficial de una caldera de vapor. Reducir la tasa de descarga superficial al mínimo técnico requerido puede contribuir significativamente a reducir los costes energéticos.

Ácido silícico:	<input type="text"/>	mg/l
Conductividad:	<input type="text"/>	µS/cm
Dureza carbonatada:	<input type="text"/>	°dH







## 2 Presión

### Sobrepresión y presión absoluta

En la tecnología de calderas de vapor, es habitual indicar todas las presiones como sobrepresión relativa a una presión atmosférica de 1 bar.

En estos puntos se utiliza la unidad [bar] o [barg].

Por lo tanto, la sobrepresión se convierte en presión absoluta de la siguiente manera:

$$P_{\text{absoluta}} = p + 1.01325 \text{ bar}$$



**F1.** *Conversión de sobrepresión a presión absoluta*

### Temperatura y presión normales y temperatura y presión estándar

#### Temperatura y presión normales (según DIN 1343):

$$p_n = 101,325 \text{ Pa} = 1.01325 \text{ bar} = 1 \text{ atm}$$

$$T_n = 273.15 \text{ K} = 0 \text{ °C}$$

#### Temperatura y presión estándar (IUPAC):

$$p^\circ = 100,000 \text{ Pa} = 1.0 \text{ bar}$$

$$T^\circ = 273.15 \text{ K} = 0 \text{ °C}$$

#### Temperatura y presión ambiente estándar (IUPAC):

$$p^\circ = 100,000 \text{ Pa} = 1.0 \text{ bar}$$

$$T^\circ = 298.15 \text{ K} = 25 \text{ °C}$$



**F2.** *Temperatura y presión normales y temperatura y presión estándar*

### 2.1 Presión media de funcionamiento

La presión de funcionamiento de un sistema de calderas no es un valor constante, sino que fluctúa en torno a la presión de funcionamiento media  $p_{\text{avg}}$ . La razón de ello es que la presión de funcionamiento en la caldera de vapor se emplea como variable de entrada para la regulación de salida del sistema de calderas de vapor y, por lo tanto, fluctúa en un rango de aproximadamente  $\pm 10\%$  de la presión de funcionamiento media utilizada como valor de consigna.



**Fig. 5** Ilustración de la curva de presión a lo largo del tiempo (control de caldera BCO)

### Requisitos previos para determinar la presión media de funcionamiento

Para determinar la presión media de funcionamiento  $p_{avg}$  necesaria deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- **Nivel de presión/temperatura requerido en los consumidores de vapor**

Para definir la presión de funcionamiento media  $p_{avg}$ , debe determinarse el nivel de presión o temperatura necesario de los consumidores de vapor. El nivel de presión máximo  $p_{max,C}$  de los consumidores debe utilizarse para diseñar la presión media de funcionamiento del sistema de calderas de vapor.

El nivel de presión requerido de los consumidores a una temperatura de calentamiento conocida puede determinarse a partir de la tabla de vapor relacionando la presión de ebullición con la temperatura.

→ Fig. 37, página 109

$$p_{max,C} = p_s(T_{max,C})$$



**F3.** Presión y temperatura máximas requeridas en el consumidor

$p_{max,C}$	Presión máxima exigida al consumidor
$p_s(T_{max,C})$	Presión de ebullición a la temperatura máxima requerida
$T_{max,C}$	Temperatura máxima exigida al consumidor



• **Pérdidas de presión**

También, deben tenerse en cuenta las pérdidas de presión en la tubería de vapor entre la caldera de vapor y el consumidor, las pérdidas de presión de las válvulas en la tubería de vapor y las pérdidas de presión de cualquier estación reductora de presión existente.

→ Herramientas – Capítulo 5.4.4: Pérdida de carga - valores orientativos del coeficiente de pérdida de carga , página 411

Si los niveles de presión de los consumidores están muy alejados (> 3 bar) o si se requiere una presión de vapor constante con un margen de fluctuación menor que el que puede realizar el control de potencia de la caldera de vapor, la presión de vapor en los consumidores debe ajustarse mediante estaciones reductoras de presión entre las calderas de vapor y los consumidores. Los circuitos de control para la regulación de la carga en la caldera de vapor y la regulación de la presión en el consumidor se separan instalando estaciones reductoras de presión.

**Determinación de la presión media de funcionamiento**

La presión media de funcionamiento  $p_{avg}$  de la caldera de vapor se determina teniendo en cuenta la desviación máxima de control de la siguiente manera:

$$p_{avg} = (p_{max,C} + \Delta p_p + \Delta p_{valves}) \cdot \left(\frac{83\%}{75\%}\right)$$

**F4.** Fórmula para determinar la presión media de funcionamiento

$p_{avg}$	Presión media de funcionamiento [bar]
$p_{max,C}$	Presión máxima requerida en el consumidor [bar]
$\Delta p_p$	Pérdidas de presión en las tuberías [bar]
$\Delta p_{valves}$	Pérdidas de presión de válvulas y estaciones reductoras [bar]
75 % puntos	Nivel de control inferior para la regulación de la potencia en función de la presión máxima admisible de la caldera
83 % puntos	Nivel de control medio para la regulación de la potencia basado en la presión máxima admisible de la caldera

$$p_{avg} = ( 9 + 1.2 + 1.5 ) [bar] \cdot \left(\frac{83\%}{75\%}\right) = 12.95 [bar] \quad 13 [bar]$$

**B1.** Ejemplo de cálculo para determinar la presión media de funcionamiento

**Ajuste y modificación de la presión media de funcionamiento**

La presión media de funcionamiento  $p_{avg}$  del sistema de caldera de vapor puede ajustarse en la unidad de control del armario de control de la caldera durante la puesta en servicio y el funcionamiento del sistema o especificarse mediante el sistema de automatización.

### **Márgenes de seguridad durante el diseño**

En este punto del proceso de diseño, se aconseja trabajar sin márgenes de seguridad para reflejar las condiciones de funcionamiento reales.

Si las presiones medias de funcionamiento especificadas son demasiado altas, esto puede provocar, entre otras cosas, que las válvulas y tuberías de vapor se dimensionen demasiado pequeñas debido a la mayor densidad del vapor saturado.

Deben tenerse en cuenta márgenes de seguridad para la presión en el diseño, puede hacerse al definir la presión de funcionamiento máxima admisible.

### **Presión de funcionamiento reducida**

Por razones de eficiencia energética, la presión de funcionamiento no debe ajustarse a un valor superior al necesario. Una aplicación típica para reducir la presión de funcionamiento puede llevarse a cabo durante el fin de semana, esto permite reducir las pérdidas por radiación de la caldera.

Sin embargo, no se debe reducir la presión de funcionamiento. Si la presión de funcionamiento se reduce demasiado, puede tener los siguientes efectos negativos:

- Puede producirse cavitación en las bombas si la estrangulación es insuficiente.
- Las bombas pueden funcionar en un rango inestable del mapa característico.
- Las bombas pueden funcionar con una eficiencia inferior.

Las altas velocidades del vapor derivadas de la reducción de la densidad también pueden tener efectos negativos:

- Erosión en válvulas y codos
- Ruidos de flujo fuertes
- Aumento de la tasa de arrastre de gotas de la caldera de vapor

Por tanto, la presión de servicio mínima admisible se limita a la mitad de la presión de servicio configurada como ajuste predeterminado.

La presión media mínima de funcionamiento de un sistema de calderas de vapor de alta presión no debe ser inferior a 5 bar, puesto que las válvulas de alimentación de vapor y las tuberías de vapor deben dimensionarse muy grandes debido al mayor volumen específico del vapor a una presión más baja.



## 2.2 Presión de funcionamiento máxima admisible

La presión de funcionamiento máxima admisible de una caldera es la sobrepresión que resulta de la construcción y la resistencia de los materiales utilizados.

Esta información figura en la placa de datos del fabricante de la caldera, en la documentación facilitada y en los documentos de aceptación. El exceso de presión debe limitarse mediante una válvula de seguridad en la caldera de vapor. La válvula de seguridad se abre cuando se alcanza la presión máxima admisible para impedir que la presión en el envolvente de la caldera siga aumentando. Una vez que la válvula de seguridad ha reaccionado, vuelve a cerrarse cuando la presión en la caldera se ha reducido.

Para que la válvula de seguridad funcione de forma fiable, la válvula no responda ni empiece a tener fugas durante el funcionamiento, las presiones en la caldera de vapor se gradúan de la siguiente manera.

Tipo de presión	Formula	Valor	Unidad
Presión de funcionamiento máxima admisible (presión de seguridad/presión de activación de la válvula de seguridad)	$p_{\max,perm} = p_{sv} \triangleq 100 \%$	$\geq 15.7$	[bar]
Limitador de presión	$p_{PL} \triangleq p_{\max,perm} \cdot 95 \%$	$= 14.9$	[bar]
Punto de apagado del sistema de combustión	$p_{bu,off} \triangleq p_{\max,perm} \cdot 91 \%$	$= 14.3$	[bar]
Presión media de funcionamiento	$p_{avg} \triangleq p_{\max,perm} \cdot 83 \%$	$= 13.0$	[bar]
Punto de encendido del sistema de combustión	$p_{bu,on} \triangleq p_{\max,perm} \cdot 75 \%$	$= 11.8$	[bar]
Valor estándar para el mantenimiento del calor a través de la batería de calefacción = presión media de funcionamiento / 2	$p_{HMS} \triangleq p_{avg} \cdot \sim 50 \% \cong 42 \%$	$= 6.6$	[bar]

**Tab. 1** Clasificación de las presiones de funcionamiento (en porcentaje de la presión de funcionamiento máxima admisible)

Esto da como resultado:

- La presión de funcionamiento máxima admisible más baja  $p_{\max,perm}$  de la caldera requerida en función de la presión de funcionamiento media  $p_{avg}$  que se ha obtenido a partir de los requisitos de funcionamiento.

$$p_{\max,perm} = p_{sv} \geq \frac{p_{avg}}{83\%}$$

**F5.** Fórmula para determinar la presión de funcionamiento máxima admisible más pequeña requerida

$$p_{\max,perm} = p_{sv} \geq \frac{13,0 \text{ [bar]}}{83\%} = 15,7 \text{ [bar]}$$

**B2.** Ejemplo de cálculo para determinar la presión de funcionamiento máxima admisible más pequeña necesaria

- La presión de funcionamiento media más alta  $p_{avg,max}$  de la caldera basada en la presión de funcionamiento máxima admisible  $p_{\max,perm}$  de la caldera:

$$p_{\text{avg,max}} \leq p_{\text{max,perm}} \cdot 83 \% = p_{\text{SV}} \cdot 83 \%$$

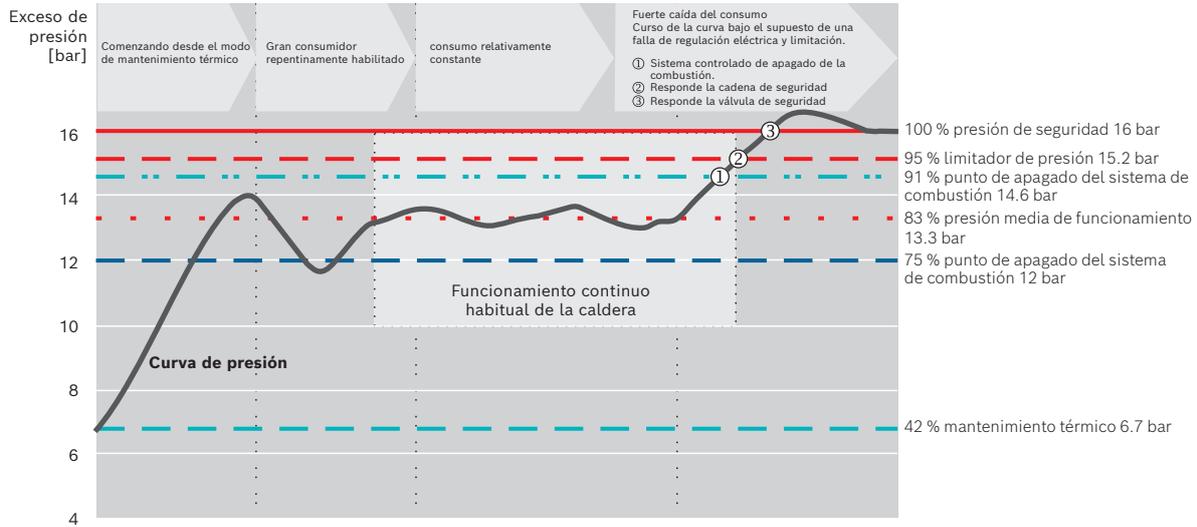


**F6.** Fórmula para determinar la presión media de funcionamiento más elevada

$$p_{\text{avg,max}} \leq 16.0 \text{ [bar]} \cdot 83 \% = 13.3 \text{ [bar]}$$



**B3.** Ejemplo de cálculo para determinar la presión media de funcionamiento más elevada



**Fig. 6** Diagrama de la curva de presión con puntos de conmutación al utilizar calderas de vapor con una presión media de funcionamiento de 13.3 bar

En el control de la caldera también pueden seleccionarse otros valores para la presión media de funcionamiento, dentro de ciertos límites.

**Otros componentes del sistema**

Además del propio envoltente de la caldera, deben tenerse en cuenta la presión de funcionamiento máxima admisible y la temperatura máxima admisible de todos los componentes y conjuntos conectados directamente a la caldera (por ejemplo, válvulas, sensores, tuberías, tapones, accesorios).

→ Curva presión/temperatura para brida según EN 1092-1

**Márgenes de seguridad durante el diseño**

En relación con la diferencia entre la sobrepresión determinada  $p_{\text{max,perm}}$  y la sobrepresión máxima admisible de la etapa de presión de caldera inmediatamente superior, es posible que ya exista un margen de seguridad de diseño. Si se requiere un margen de seguridad de diseño adicional para el rango de presión, puede seleccionarse una etapa de presión de caldera superior adecuada.





Si en el sistema de vapor se conectan consumidores con una presión de servicio admisible inferior a la de la caldera de vapor, deberán estar equipados con sus propias válvulas de seguridad o con estaciones reductoras de presión con válvulas de seguridad conectadas entre sí.



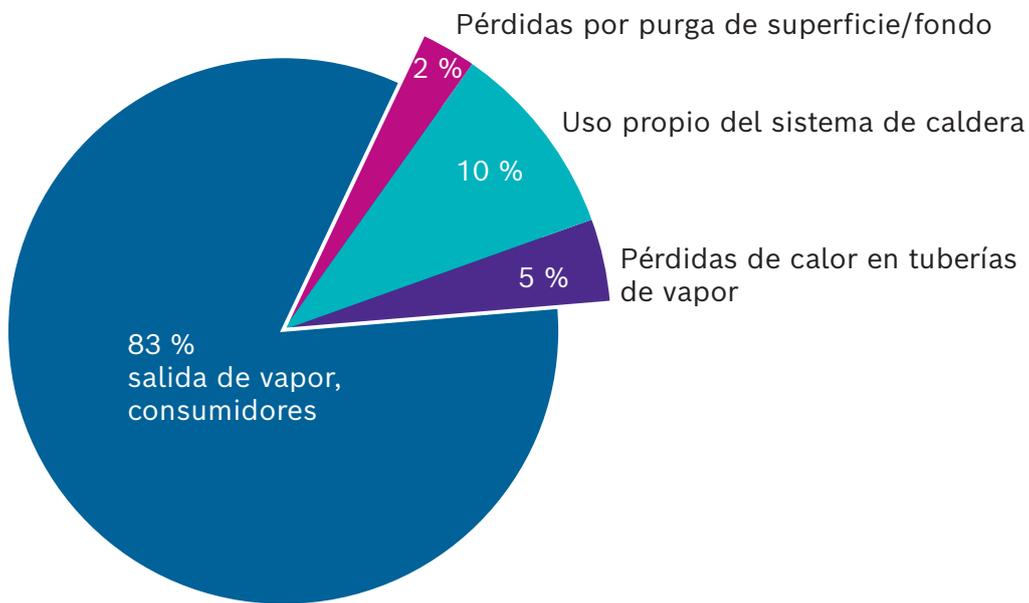


### 3 Producción de vapor

Los datos más importantes se obtienen del rendimiento de cada uno de los consumidores de vapor. Sin embargo, también hay que tener en cuenta el consumo interno del sistema de calderas de vapor, especialmente para calentar y desairear el agua de reposición y el condensado, la purga superficial y las pérdidas de calor en las tuberías.

A la hora de determinar la potencia de vapor necesaria del sistema de calderas, también deben tenerse en cuenta factores adicionales como la simultaneidad de las potencias máximas de los consumidores individuales, la tasa de carga máxima y aspectos puramente técnicos que a menudo solamente pueden medirse con dificultad (por ejemplo, la seguridad del suministro o las posibles ampliaciones).

A continuación se muestra la distribución típica de la producción de vapor. El cálculo del consumo preciso específico del proyecto se describe en el capítulo siguiente.



**Fig. 7** Ilustración de la correlación entre la producción nominal de vapor de la caldera y la producción de vapor en los consumidores (los valores mostrados son ejemplos)

## Lista de símbolos

Símbolo	Unidad	Significado
$\dot{m}_S$	[kg/h]	Producción de vapor; cantidad de vapor
$\dot{m}_{S,dC}$	[kg/h]	Cantidad de vapor para consumidores directos
$\dot{m}_{S,iC}$	[kg/h]	Cantidad de vapor para consumidores indirectos
$\dot{m}_{S,IP}$	[kg/h]	Cantidad de vapor debida al vapor de expansión
$\dot{m}_{S,OU}$	[kg/h]	Uso propio del sistema de calderas
$\dot{m}_{S,boi}$	[kg/h]	Producción de vapor de la caldera
$\dot{Q}$	[kW]; [MW]	Potencia calorífica
$\dot{Q}_{HX}$	[kW]; [MW]	Potencia térmica del intercambiador de calor
$r$	[kJ/kg]	Entalpía del evaporador a la presión correspondiente
$c_p$	[kJ/kgK]	Capacidad térmica específica del agua (hasta 250°C puede calcularse con un error mínimo con la constante $c_p = 250^\circ\text{C}$ ) con un error mínimo con la constante $c_p = 4.19$ kJ/kgK)
$\Delta T$	[K]	Diferencia de temperatura

Tab. 2 Lista de símbolos

### 3.1 Cálculo del consumo

Para determinar la potencia de vapor necesaria de una instalación de calderas de vapor, lo ideal es registrar en una tabla todos los consumidores de vapor de la red de vapor con su potencia mínima y máxima y, a continuación, sumar la potencia de todos los consumidores.

Al hacerlo, debe distinguirse entre los siguientes consumidores:

- Consumidor directo (por ejemplo, autoclave).
- Consumidor indirecto (por ejemplo, intercambiador de calor).
- Pérdidas de vapor de expansión (por ejemplo, en el depósito de condensado no presurizado).
- Pérdidas de calor en las tuberías de vapor.
- Uso propio del sistema de calderas (por ejemplo, vapor de calentamiento para el depósito de agua de alimentación).

#### Consumidor directo

$$\dot{m}_{S,dC} \text{ [kg/h]} = \text{cantidad de vapor para e consumidor directo}$$



Con los consumidores de vapor directo, el vapor entra en contacto directo con el medio (no a través de un intercambiador de calor), donde abandona el sistema en forma de condensado. El agua condensada producida se elimina con el producto (o permanece en el producto) y ya no está disponible para el circuito de vapor. Esta agua consumida debe ser sustituida de nuevo como agua de reposición por el sistema de tratamiento de agua del circuito de vapor.

→ Tecnología – Capítulo 4.1: Tratamiento de agua, página 177



El agua de reposición debe desgasificarse calentándola en el depósito de agua de alimentación. Esto aumenta el consumo propio requerido por el sistema de caldera de vapor.

Los consumidores directos pueden encontrarse, por ejemplo, en procesos de secado, durante la humidificación, al calentar baños de ebullición o durante la esterilización.

La potencia de vapor necesaria en los consumidores directos de vapor se indica en la forma necesaria como caudal másico  $\dot{m}_{s,dc}$  (cantidad de vapor para los consumidores directos) en [kg/h]. Si se especifica una potencia térmica para estos consumidores de vapor, también se aplican aquí las mismas fórmulas utilizadas con los consumidores indirectos para la conversión de la potencia térmica en potencia de vapor.

### Consumidor indirecto

Los consumidores indirectos de vapor son todos los tipos de intercambiadores de calor en los que el vapor se condensa al tiempo que libera energía térmica (que calienta un medio, por ejemplo, agua). El punto de ebullición del condensado producido durante este proceso corresponde inicialmente a la presión del vapor a la entrada del intercambiador de calor, pero también puede enfriarse más por debajo del punto de ebullición, dependiendo del nivel de temperatura del medio que se calienta. Este condensado se denomina condensado sobreenfriado. El condensado se transporta a través del desaireador de vuelta al depósito de agua de alimentación.

La potencia térmica de un intercambiador de calor suele especificarse en [kW] o [MW]. Para determinar la producción de vapor necesaria en [kg/h] de vapor saturado, la producción térmica del intercambiador de calor debe convertirse en producción de vapor saturado.

La necesidad de vapor saturado en un intercambiador de calor puede calcularse inicialmente mediante la siguiente fórmula sencilla:

$$\dot{m}_{s,ic} = \dot{Q}_{HX} \cdot 1.8$$



**F7.** Fórmula para el cálculo aproximado de las necesidades de vapor saturado de los consumidores indirectos

- $\dot{m}_{s,ic}$  Cantidad de vapor para consumidores indirectos [kg/h]
- $\dot{Q}_{HX}$  Potencia térmica del intercambiador de calor [kW]
- 1.8 Factor de estimación para la conversión

$$\dot{m}_{s,ic} = 1,000 \text{ [kW]} \cdot 1.8 = 1,800 \text{ [kg/h]}$$



**B4.** Ejemplo de cálculo aproximado de las necesidades de vapor saturado de los consumidores indirectos

Para una presión de vapor de 5 - 18 bares, la diferencia con respecto a la producción real de vapor es <5%. En este caso no se tiene en cuenta el posible sobreenfriamiento del condensado.

Para determinar con precisión la producción de vapor en función de la potencia térmica de un intercambiador de calor, debe determinarse la entalpía de evaporación a partir de la tabla de vapor saturado con la presión de funcionamiento real del intercambiador de calor.

→ Tecnología – Capítulo 1.1: Tipos de vapor, página 103

La potencia térmica del intercambiador de calor puede convertirse posteriormente en una potencia de vapor saturado de la siguiente manera:

$$\dot{m}_{S,iC} = \dot{Q}_{HX} \cdot \frac{3,600}{r}$$



**F8.** Fórmula de conversión de la potencia térmica en potencia de vapor saturado

- $\dot{m}_{S,iC}$  Cantidad de vapor para consumidores indirectos [kg/h]
- $\dot{Q}_{HX}$  Potencia térmica del intercambiador de calor [kW]
- $r$  Entalpía de evaporación con la presión correspondiente [kJ/kg]

$$\dot{m}_{S,iC} = 1,000 \text{ [kW]} \cdot \frac{3,600 \left[ \frac{\text{s}}{\text{h}} \right]}{1,959 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]} = 1,838 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$



**B5.** Ejemplo de cálculo para convertir la potencia térmica en potencia de vapor saturado

Si el condensado producido se sobreenfría, es decir, hasta por debajo del punto de ebullición, en todas las condiciones de funcionamiento la producción de vapor puede calcularse mediante la siguiente fórmula, teniendo en cuenta el rendimiento térmico por sobreenfriamiento del condensado:

$$\dot{m}_{S,iC} = \dot{Q}_{HX} \cdot \frac{3,600}{r + c_p \cdot \Delta T} = \dot{Q}_{HX} \cdot \frac{3,600}{h'' - h_{Co,outside}}$$



**F9.** Fórmula para calcular la cantidad de vapor para consumidores indirectos, incluido el sobreenfriamiento del condensado

- $\dot{m}_{S,iC}$  Cantidad de vapor para consumidores indirectos [kg/h]
- $\dot{Q}_{HX}$  Potencia térmica del intercambiador de calor [kW]
- $r$  Entalpía de evaporación con la presión correspondiente [kJ/kg]
- $c_p$  Capacidad térmica específica del agua [kJ/kgK] (hasta 250 °C puede calcularse con un error mínimo con una constante  $c_p = 4.19$  [kJ/kgK])
- $\Delta T$  Sobreenfriamiento del condensado, diferencia de temperatura  $T_S - T_{Co,exterior}$  [K]
- $h''$  Entalpía del vapor saturado [kJ/kg]
- $h_{Co,exterior}$  Entalpía del condensado directamente aguas arriba de la descarga en el intercambiador de calor



### Pérdidas de vapor de expansión

$$\dot{m}_{S,ES} \text{ [kg/h]} = \text{cantidad de vapor de expansión}$$



El vapor de expansión se produce cuando la condensación caliente presurizada se expande a la presión por debajo de la presión de ebullición. Esto ocurre, por ejemplo, cuando la condensación fluye a través de drenajes o válvulas de condensación o cuando fluye hacia un depósito de condensación abierto a presión atmosférica. Cuanto mayor es la temperatura del condensado, más vapor de expansión se produce.

La cantidad de vapor de expansión producida puede leerse en el diagrama o calcularse a partir de la tabla de vapor de agua.

→ Herramientas – Capítulo 4.2: Tabla de vapor de agua, página 398

En este caso hay que tener en cuenta que la cantidad de vapor de expansión puede estar ya reducida debido al sobreenfriamiento de la condensación. Si el vapor de expansión se libera al entorno, el vapor perdido del sistema de la caldera debe reintroducirse como agua de reposición, de la misma forma que cuando se pierde agua de los consumidores directos.

El vapor de expansión también puede utilizarse mediante medidas de recuperación de calor y reintroducirse directamente en el circuito de agua.

→ Tecnología – Capítulo 3.3: Economizador, página 148

### Pérdidas de calor en las tuberías de vapor

$$\dot{m}_{S,IP} \text{ [kg/h]} = \text{cantidad de vapor para igualar las pérdidas de calor en las tuberías de vapor}$$



La pérdida de calor en las tuberías también debe tenerse en cuenta en el diseño de la producción de vapor. Si las tuberías están bien aisladas, puede suponerse una demanda de energía térmica de unos 10 kg de vapor por hora y en cada tubería (10kgS / (h · 100 m)).

Para calcular las pérdidas de calor con mayor precisión, debe realizarse un cálculo independiente para cada tramo de tubería en función del diámetro nominal, la longitud de la tubería y el grosor del aislamiento.

También deben tenerse en cuenta las pérdidas de calor en válvulas, conexiones con bridas y recipientes. Los valores orientativos correspondientes figuran en el capítulo Eficiencia.

→ Eficiencia – Capítulo 4.1: Aislamiento, página 287

Desafortunadamente, se sigue subestimando la pérdida de calor a través de tuberías, recipientes y válvulas mal o parcialmente aislados. Esto se debe principalmente a que, durante la vida útil del sistema, el aislamiento durante la vida útil del sistema, el aislamiento se retira para su inspección o mantenimiento y no se vuelve a instalar posteriormente. El aislamiento de las tuberías (tanto en el

sistema de vapor como en el de condensado) representa una de las medidas de ahorro más económicas en los sistemas existentes.

Si se calculan con precisión las pérdidas de calor en las tuberías, la demanda de vapor para estas pérdidas debe determinarse del mismo modo que la demanda de calor para un consumidor indirecto.

$$\dot{m}_{S,IP} = \dot{Q}_{IP} \cdot 1.8 = \dot{Q}_{IP} \cdot \frac{3,600}{r}$$



**F10.** Fórmula para calcular la cantidad de vapor por pérdidas de calor en las tuberías

$\dot{m}_{S,IP}$	Cantidad de vapor por pérdidas térmicas en tuberías [kg/h]
$\dot{Q}_{IP}$	Potencia térmica de las pérdidas en las tuberías [kW]
1.8	Factor de estimación para la conversión
r	Entalpía de evaporación con la presión correspondiente [kJ/kg]

$$\dot{m}_{S,IP} = 20 \text{ [kW]} \cdot 1.8 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] = 36 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

$$\dot{m}_{S,IP} = 20 \text{ [kW]} \cdot \frac{3,600 \left[ \frac{\text{s}}{\text{h}} \right]}{1,959 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right]} = 36.8 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$



**B6.** Ejemplo de cálculo de la cantidad de vapor para las pérdidas de calor en las tuberías

→ Herramientas – Capítulo 4: Principios básicos del vapor de agua, página 397

→ Herramientas – Capítulo 4.2: Tabla de vapor de agua, página 398

### Uso propio del sistema de calderas de vapor

El sistema de caldera de vapor también necesita parte de la producción de vapor para su propio uso con el fin de funcionar. La potencia de vapor real necesaria para empleo propio únicamente puede determinarse a partir de un conocimiento profundo del modo de funcionamiento de todo el sistema de calderas de vapor. La cantidad de vapor de calentamiento para el depósito de agua de alimentación es decisiva para el consumo interno de vapor.

→ Tecnología – Capítulo 4.1: Tratamiento de agua, página 177

El vapor de calentamiento en el depósito de agua de alimentación depende a su vez del flujo de retorno de la condensación procedente de los consumidores de vapor con las correspondientes temperaturas de condensado, la demanda de agua de reposición y las pérdidas de agua de la caldera para la descarga de superficie y la descarga de fondo.



La cantidad de vapor para uso propio es necesaria para el funcionamiento de los siguientes consumidores de calor. Para obtener un valor orientativo para diseñar inicialmente la producción de vapor necesaria, la demanda de vapor para uso propio puede estimarse de la siguiente manera:

$\dot{m}_{OU}$  [kg/h] = uso propio del sistema de calderas:

- Calentamiento de agua de reposición (~5 ... ~15 % de la producción de vapor del sistema)
- Calentamiento del agua condensada oxigenada (~1 ... ~3 % de la producción de vapor del sistema)
- Vapores de escape durante la desaireación (~0.5 % de la producción de vapor del sistema)



Por lo tanto, la caldera necesita aproximadamente entre un 6 y un 16% de la producción total de vapor para uso propio. Para calcular con precisión el vapor necesario para el consumo propio, es necesario disponer de los datos exactos sobre la demanda de agua de reposición, el tipo de tratamiento del agua y el modo químico de funcionamiento de la caldera, el retorno de condensado con las temperaturas de condensado y, en caso necesario, el precalentamiento del combustible.

No obstante, el vapor necesario para uso propio puede reducirse considerablemente mediante medidas de recuperación de calor como enfriadores de vapor de escape, tanques flash, enfriadores de salmuera y enfriadores de agua de alimentación o economizadores de condensación y un modo de funcionamiento sin sal con tratamiento del agua por ósmosis.

→ Tecnología – Capítulo 3.3: Economizador, página 148

Para calcular con precisión la cantidad de vapor necesaria para uso propio, deben calcularse las siguientes cantidades de vapor de calentamiento. En conjunto, representan la cantidad de vapor de calentamiento para el depósito de agua de alimentación.

### Calentamiento del agua de reposición

Para compensar las pérdidas de vapor en el circuito de vapor, debidas por ejemplo a los consumidores directos, hay que introducir en esta agua de reposición tratada.

→ Tecnología – Capítulo 4.1: Tratamiento de agua, página 177

Durante la desaireación, el agua fría de reposición debe calentarse desde aproximadamente 10°C hasta 103°C. La potencia térmica necesaria se obtiene como consumo interno de vapor directamente de la potencia de vapor de la caldera.

$$\dot{m}_{OU,MW} = \frac{\dot{m}_{MW} \cdot c_p \cdot \Delta T \cdot \frac{3,600 \text{ s}}{h}}{r}$$



**F11.** Fórmula de cálculo del vapor necesario para uso propio para calentar el agua de reposición

$\dot{m}_{OU,MW}$  Vapor necesario para uso propio para calentar el agua de reposición [kg/h]

$\dot{m}_{MW}$	Necesidad de agua de reposición para el tratamiento del agua de alimentación [kg/h]
$r$	Entalpía de evaporación con la presión correspondiente [kJ/kg]
$c_p$	Capacidad térmica específica del agua [kJ/kgK] (hasta 250°C puede calcularse con un error mínimo con una constante $c_p = 4.19$ [kJ/kgK])
$\Delta T$	Diferencia de temperatura entre la temperatura del agua de alimentación y la temperatura del agua de reposición $T_{dea} - T_{MW}$ [K]

Por tanto, la necesidad de agua de reposición puede calcularse a partir de la producción de vapor, la descarga superficial, los vapores de escape y el caudal de retorno de condensado:

$$\begin{aligned}\dot{m}_{MW} &= \dot{m}_{S,sys} + \dot{m}_{BD} + \dot{m}_{VS} - \dot{m}_{Co,tll} \\ \dot{m}_{MW} &= \dot{m}_{S,sys} \cdot z \\ \dot{m}_{MW} &\approx \dot{m}_{S,sys} \cdot (1 + a + 0.5\% - c)\end{aligned}$$



**F12.** Fórmula de cálculo de la necesidad de agua de reposición

$\dot{m}_{MW}$	Necesidad de agua de reposición [kg/h]
$\dot{m}_{S,sys}$	Producción de vapor del sistema [kg/h]
$\dot{m}_{BD}$	Caudal másico, purga de superficie [kg/h]
$\dot{m}_{VS}$	Caudal másico, vapores de escape [kg/h]
$\dot{m}_{Co,tll}$	Caudal másico, condensado total [kg/h]
$a$	Índice de descarga superficial = $\dot{m}_{BD} / \dot{m}_{S,boi}$ [kg/kg]
$c$	Tasa de acumulación de condensado = $\dot{m}_{Co,tll} / \dot{m}_{S,sys}$ [kg/kg]
$z$	Tasa de agua de reposición = $\dot{m}_{MW} / \dot{m}_{S,sys}$ [kg/kg]

### Calentamiento del agua condensada oxigenada

Además de calentar el agua de reposición, el agua de condensación oxigenada, que se recoge en depósitos de condensación abiertos y, por tanto, está más fría de 103 °C, también debe calentarse hasta alcanzar la temperatura del agua de alimentación. La temperatura del agua condensada oxigenada suele oscilar entre 50 y 90 °C.

La potencia térmica necesaria se obtiene como consumo de vapor propio directamente de la potencia de vapor de la caldera.

$$\dot{m}_{OU,hCo} = \frac{\dot{m}_{hCo} \cdot c_p \cdot \Delta T \cdot \frac{3,600 \text{ s}}{h}}{r}$$



**F13.** Fórmula de cálculo del vapor necesario para uso propio para calentar el condensado

$\dot{m}_{OU,hCo}$	Vapor necesario para uso propio para calentar el condensado [kg/h]
$\dot{m}_{hCo}$	Cantidad de agua condensada, oxigenada [kg/h]
$r$	Entalpía de evaporación con presión correspondiente [kJ/kg]
$c_p$	Capacidad térmica específica del agua [kJ/kgK] (hasta 250 °C puede calcularse con un error mínimo con una constante $c_p = 4.19$ [kJ/kgK])



$\Delta T$  Diferencia de temperatura entre la temperatura del agua de alimentación y la temperatura del condensado  $T_{dea} - T_{hCo}$  [K]

### Vapores de escape durante la desaireación

Para que los gases como el oxígeno y el CO<sub>2</sub> disueltos en el agua de reposición y el agua condensada oxigenada también puedan eliminarse del desaireador, una proporción de aproximadamente el 0.5% del caudal másico compuesto por agua de reposición y agua condensada oxigenada debe descargarse en forma de vapores de escape a la atmósfera. Durante este proceso, el oxígeno, el nitrógeno y el dióxido de carbono expulsados son transportados en los vapores de escape fuera del agua a la atmósfera.

$$\dot{m}_{VS} \approx (\dot{m}_{hCo} + \dot{m}_{MW}) \cdot 0.5 \%$$



$\dot{m}_{VS}$  Caudal másico, vapores de escape [kg/h]

$\dot{m}_{hCo}$  Cantidad de agua de condensación, oxigenada [kg/h]

$\dot{m}_{MW}$  Necesidad de agua de reposición [kg/h]

Como medida de recuperación de calor, el calor de los vapores de escape puede condensarse en un enfriador de vapores de escape y la energía térmica acumulada puede utilizarse para calentar el agua de reposición.

→ Eficiencia – Capítulo 3.2: Vapores de escape, página 280

### Cantidad de vapor de calentamiento para el depósito de agua de alimentación

El vapor necesario para uso propio para calentar el depósito de agua de alimentación puede resumirse mediante la siguiente fórmula:

$$\dot{m}_{HS} = \dot{m}_{OU} = \dot{m}_{OU,MW} + \dot{m}_{hCo} + \dot{m}_{VS}$$



**F14.** Fórmula de cálculo del vapor necesario para uso propio para calentar el depósito de agua de alimentación

$\dot{m}_{HS}$  Cantidad de vapor de calentamiento [kg/h]

$\dot{m}_{OU}$  Vapor necesario para uso propio [kg/h]

$\dot{m}_{OU,MW}$  Vapor necesario para uso propio para calentar agua de reposición [kg/h]

$\dot{m}_{hCo}$  Cantidad de agua de condensación, oxigenada [kg/h]

$\dot{m}_{VS}$  Caudal másico, vapores de escape [kg/h]

### Consumo nominal de vapor del sistema de calderas

Para determinar la necesidad total de vapor del sistema, deben sumarse todos los consumidores de vapor:

$$\dot{m}_{S,boi} = \dot{m}_{S,sys} + \dot{m}_{OU} = \dot{m}_{S,dC} + \dot{m}_{S,iC} + \dot{m}_{S,IP} + \dot{m}_{OU}$$



**F15.** *Fórmula para calcular la necesidad total de vapor del sistema*

$\dot{m}_{S,boi}$	Producción de vapor de la caldera [kg/h]
$\dot{m}_{S,sys}$	Producción de vapor de la caldera [kg/h]
$\dot{m}_{S,dC}$	Cantidad de vapor para consumidores directos [kg/h]
$\dot{m}_{S,iC}$	Cantidad de vapor para consumidores indirectos [kg/h]
$\dot{m}_{S,IP}$	Cantidad de vapor necesaria para compensar las pérdidas de calor en las tuberías [kg/h]
$\dot{m}_{OU}$	Utilización propia del sistema de calderas [kg/h]



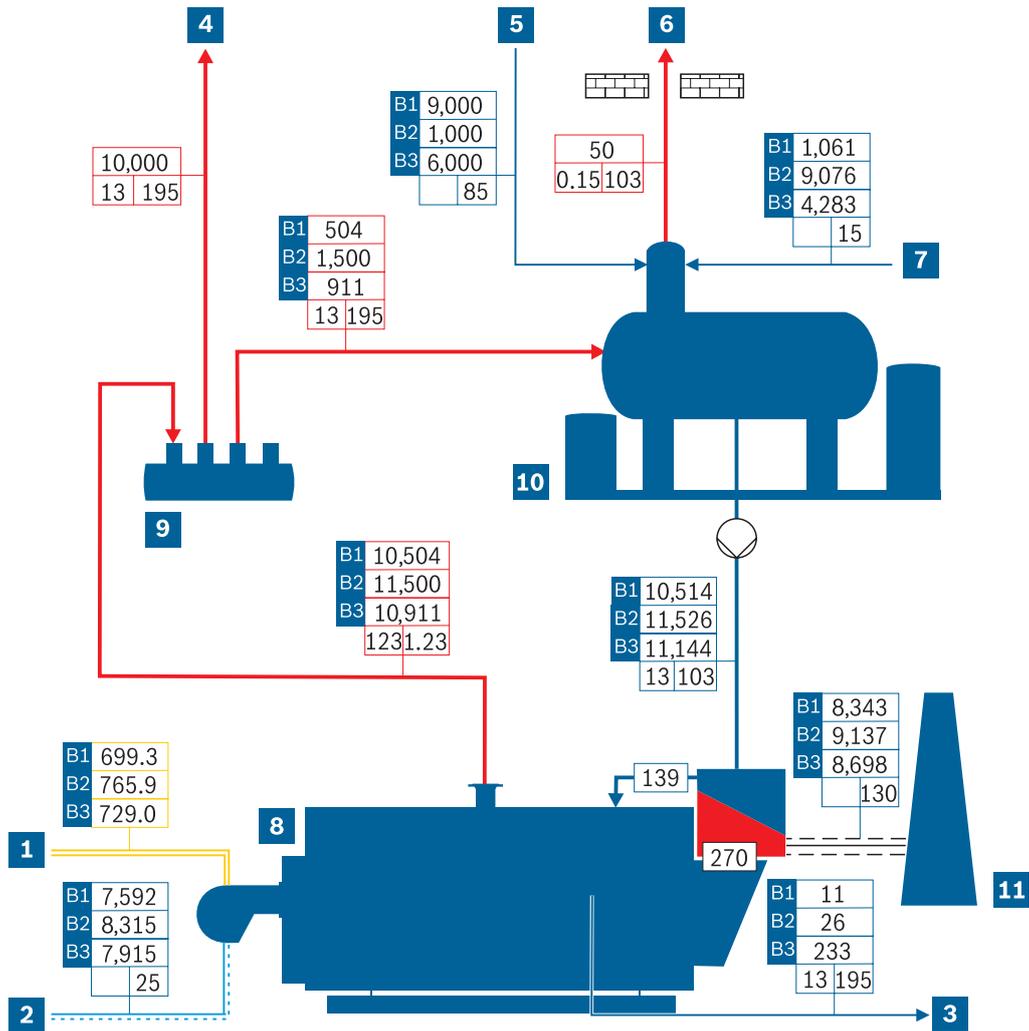
### Ejemplo de cálculo de balances de masa y energía

El sencillo ejemplo siguiente ilustra los balances de masa y energía de un sistema de caldera de vapor con un número reducido de componentes.

Para mayor claridad, la comparación se limita al cambio en la cantidad de condensado recirculado y al tipo de tratamiento del agua. El rendimiento térmico en los tres casos se sitúa en torno al 95%.

Ejemplo B1	Ejemplo B2	Ejemplo B3
<p>Sistema de vapor compuesto principalmente por <b>consumidores indirectos</b> (c = 90 %) y un pequeño número de consumidores directos (10 %).</p> <p>El agua de reposición se repone a partir de una unidad de tratamiento de agua por ósmosis y la caldera tiene un modo de funcionamiento con bajo contenido en sal.</p>	<p>Sistema de vapor compuesto principalmente por <b>consumidores directos</b> (90 %) y un pequeño número de consumidores indirectos (c = 10 %) de modo que apenas retorna el agua de condensación oxigenada.</p> <p>Al igual que en el ejemplo 1, el agua de reposición se repone a partir de una unidad de tratamiento de agua por ósmosis, por lo que la caldera funciona en modo de baja salinidad.</p>	<p>Sistema de vapor con consumidores <b>directos</b> (60 %) e <b>indirectos</b> (c = 40 %).</p> <p>El agua de reposición se repone desde una unidad descalcificadora y la caldera tiene un modo de funcionamiento salino.</p>
<p>En sistemas, por ejemplo, en los que el vapor se utiliza en intercambiadores de calor, pero solo se devuelve una parte del condensado (por ejemplo, debido a distancias muy largas hasta los consumidores).</p>	<p>Por ejemplo, en sistemas en los que el vapor solo se utiliza para consumidores directos, como los utilizados en la fabricación de piensos o en autoclaves.</p> <p>El condensado únicamente se recircula cuando se usan sistemas de drenaje de tuberías y una serie de unidades auxiliares.</p>	<p>Por ejemplo, en sistemas en los que solo una parte del condensado es o puede ser devuelta, como los que tienen consumidores directos utilizados en la industria de las bebidas (limpieza de botellas).</p>
<h4>Resumen</h4>		
<p>Gracias al tratamiento de agua de alta calidad y a la elevada tasa de acumulación de condensados, se necesita muy poco vapor de calentamiento. Esto significa que casi todo el vapor producido por la caldera puede emplearse en los consumidores. La demanda específica de combustible es baja.</p>	<p>Gracias al tratamiento de alta calidad del agua, la tasa de purga superficial sigue siendo muy baja a pesar de la escasa cantidad de condensado. Sin embargo, como la cantidad de agua de reposición que debe calentarse es muy grande, la demanda específica de combustible es significativamente mayor.</p>	<p>La mayor tasa de purga superficial y las elevadas pérdidas de calor (sin recuperación del calor de purga superficial), además de la importante cantidad de agua de reposición, dan lugar a una mayor demanda específica de combustible.</p>
<h4>Energía requerida del combustible por kg de vapor al consumidor:</h4>		
<b>0.724 [kWh/kg]</b>	<b>0.793 [kWh/kg] (+ 9.5 %)</b>	<b>0.755 [kWh/kg] (+ 4.3 %)</b>

**Tab. 3** Ejemplos de cálculos de balances de masa y energía para diversos sistemas de vapor



**Fig. 8** Ilustración del balance de masa y energía en un diagrama de flujo simplificado (representación muy simplificada)

- |                                 |                                      |                         |
|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| <b>1</b> Combustible            | <b>7</b> Agua de reposición          | — Agua                  |
| <b>2</b> Aire                   | <b>8</b> Caldera de vapor            | — Vapor                 |
| <b>3</b> Descarga de superficie | <b>9</b> Distribuidor de vapor       | — Combustible           |
| <b>4</b> Vapor saturado         | <b>10</b> Modulo de servicio de agua | - - - Aire              |
| <b>5</b> Condensado oxigénico   | <b>11</b> Chimenea                   | ≡≡≡ Gases de combustión |
| <b>6</b> Vapor de escape        |                                      |                         |

Caudal másico	
Presión	Temperatura
10,000	13 195
B1 9,000	B2 1,000
B3 6,000	85
B1 504	B2 1,500
B3 911	13 195
50	0.15 103
B1 1,061	B2 9,076
B3 4,283	15
B1 10,504	B2 11,500
B3 10,911	1231.23
B1 699.3	B2 765.9
B3 729.0	25
B1 7,592	B2 8,315
B3 7,915	25
B1 10,514	B2 11,526
B3 11,144	13 103
B1 8,343	B2 9,137
B3 8,698	130
139	270
B1 11	B2 26
B3 233	13 195



## 3.2 Análisis del consumo

Si se conoce la cantidad nominal de vapor de diseño, la planificación debe incluir un paso para definir la potencia de vapor de cada una de las calderas del sistema. El objetivo es determinar la necesidad máxima de vapor durante el funcionamiento, así como la necesidad mínima de vapor. También deben tenerse en cuenta los márgenes de seguridad del diseño o la ampliación del sistema de calderas.

### 3.2.1 Producción máxima de vapor

La carga máxima o carga nominal corresponde al número total de consumidores individuales que podrían estar en funcionamiento al mismo tiempo.

Para garantizar que la potencia máxima de vapor elegida no sea demasiado elevada, debe comprobarse si todos los consumidores de calor están o tienen que estar funcionando a su potencia máxima al mismo tiempo. Normalmente, no es el caso, o bien puede evitarse mediante procesos internos. Así, por ejemplo, puede reducirse la carga máxima necesaria, de modo que puedan escalonarse los procesos de puesta en marcha de los componentes de la instalación y de los intercambiadores de calor. Lo que elimina por completo o al menos reduce los problemas que surgen durante las fases de carga ligera debido al sobredimensionamiento del sistema.

#### Márgenes de seguridad durante el diseño

Por supuesto, con la potencia máxima de vapor también tiene sentido tener en cuenta un margen de seguridad adecuado.

Para evitar un sobredimensionamiento excesivo, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos a la hora de definir los márgenes de seguridad:

- Colaboración con el operador del sistema.
- Incorporación de futuros desarrollos operativos.
- Demostración explícita de los márgenes de seguridad durante la concepción del sistema:
  - Debe evitarse la multiplicación de los márgenes de seguridad en diferentes puntos.
  - Por regla general, los márgenes de seguridad ya se han incluido en los intercambiadores de calor y los consumidores de vapor.

#### Problemas por sobredimensionamiento

- Aumento de los costes de inversión.
- Aumento de los costes de funcionamiento, especialmente debido a los ciclos del quemador y a las pérdidas de calor.
- Reducción de la vida útil de la caldera y otros componentes del sistema.



#### Arranque

Durante la operación de arranque se necesita calor adicional para que el sistema alcance la temperatura de funcionamiento, especialmente si el depósito de agua de alimentación, las tuberías o el intercambiador de calor están todavía fríos. La producción máxima de vapor solo está disponible para los consumidores una vez que el sistema alcanza la temperatura de funcionamiento.

### **Sobrecarga**

La sobrecarga de consumidores individuales o de todo el sistema por encima de la carga máxima de la caldera provoca un consumo muy elevado de vapor de la caldera. Además de reducir la presión de la caldera, esto también provoca un aumento de la humedad del vapor y la formación de espuma en el agua de la caldera. Por tanto, debe evitarse la sobrecarga de la caldera, por ejemplo, utilizando estaciones reductoras de presión en los consumidores o protegiendo la caldera con válvulas motorizadas de alimentación de vapor.

El problema de la sobrecarga de la caldera de vapor también puede producirse cuando los intercambiadores de calor están correctamente configurados. La potencia de los intercambiadores de calor se especifica con referencia a las condiciones de diseño y normalmente incluye una reserva del 10 - 30% para las superficies de calentamiento dentro del intercambiador de calor. Si los intercambiadores de calor son nuevos, también alcanzan una mayor potencia cuando la demanda de vapor es mayor.

### **Evolución del consumo de vapor durante los cambios de funcionamiento**

Debe prestarse especial atención a los posibles cambios futuros en una explotación. Si ya se han planificado o previsto ampliaciones, esto debe tenerse en cuenta en la producción máxima de vapor prevista. En este caso, normalmente es posible diseñar un concepto global del sistema que permita un cierto grado de flexibilidad en cuanto a la producción de vapor, con el fin de acomodar la ampliación posterior y evitar que el funcionamiento actual se vea afectado negativamente debido a un sobredimensionamiento excesivo.

### **3.2.2 Fases de producción mínima y carga ligera**

El rendimiento mínimo se produce normalmente cuando la producción se detiene por la noche o durante el fin de semana. Además de los consumidores internos, hay que tener en cuenta sobre todo las denominadas pérdidas por paradas. No dependen de la demanda actual de vapor del sistema y se producen en cualquier momento.

Se trata esencialmente de:

- Pérdidas de calor por emisión de calor en la caldera de vapor.
- Pérdidas de calor en las tuberías.
- Pérdidas de calor en los componentes.
- Pérdidas de vapor de escape en la unidad de desaireación.

Deben evitarse especialmente las fases de carga ligera en las que la potencia de vapor necesaria esté por debajo del rango de regulación del quemador.

En cuanto el quemador se pone en marcha con frecuencia (> 4 arranques/h), el rendimiento se ve gravemente afectado debido a las pérdidas de ventilación previa que se producen.

→ Eficiencia – Capítulo 2.2.4: Preventilación, página 273

Asimismo, la vida útil total del sistema se ve mermada por las tensiones térmicas que se producen cuando arranca.

A menudo, estas condiciones de carga parcial pueden evitarse o reducirse mediante controles de nivel superior y sistemas internos de gestión de la energía, considerando que ya se han tenido en cuenta durante la planificación del sistema.

→ Informe técnico FB027: tensiones evitables en las calderas pirotubulares de vapor.



### 3.3 Definición de la potencia de la caldera

Las siguientes especificaciones se han definido como resultado del análisis del consumo:

- Producción máxima de vapor.
- Producción mínima de vapor.
- Documentación de los márgenes de seguridad.
- Concepto para futuros cambios operativos en la demanda de salida de vapor.
- Posibilidad de un curso cronológico de la producción de vapor.

Con estos datos se pueden definir las potencias individuales de las calderas.

#### 3.3.1 Sistemas de caldera individual

Al seleccionar el tamaño de la potencia de la caldera, hay que asegurarse de que el sistema de calderas funcione posteriormente en el intervalo del 40 al 90% de la producción máxima de la caldera de vapor, ya que el rendimiento es especialmente alto en este intervalo.

La definición de la producción de vapor mínima y máxima también establece el rango de control necesario del sistema.

$$\text{Rango de regulación requerido} = \frac{\text{Producción mínima de vapor}}{\text{Producción máxima de vapor}}$$



La utilización de una sola caldera es una solución conveniente si el intervalo de regulación durante el funcionamiento normal en días laborables se sitúa entre los valores siguientes:

- Caldera pirotubular simple: 1 a 0.125 (rango de regulación 1:8)
- Caldera pirotubular doble: 1 a 0.061 (rango de regulación 1:16)

Están disponibles los siguientes tamaños de salida:

- Caldera pirotubular simple: 175 ... 28,000 kg/h
- Caldera pirotubular doble: 18,000 ... 55,000 kg/h

#### 3.3.2 Sistemas de múltiples calderas

Puede tener sentido utilizar un sistema de varias calderas por varias razones. La siguiente descripción pretende abarcar los distintos motivos de distribución de la producción nominal de vapor. Sin embargo, como son posibles muchas variantes de distribución, no es posible ofrecer una evaluación completa y exhaustiva que abarque todos los aspectos. La decisión de optar por un sistema único o distribuir entre varias calderas debe tomarse siempre para cada proyecto individualmente y debe ser realizada por el operador y el planificador con el apoyo del ingeniero de la planta y el fabricante de la caldera.

##### Seguridad de suministro y redundancia

La distribución de la potencia de la caldera entre varias unidades de generación es necesaria si también hay que mantener la seguridad del suministro cuando una unidad deja de funcionar. Por ejemplo, esto es necesario en hospitales o en la industria farmacéutica.

En este caso, la unidad de reserva debe proporcionar la potencia mínima necesaria para garantizar la continuidad del funcionamiento.

Por otra parte, en las empresas alimentarias, como las centrales lecheras o las azucareras, y en las industriales, como las papeleras y las imprentas, la avería de la unidad generadora de vapor suele ser desastrosa desde el punto de vista económico.

### **Funcionamiento a carga parcial y relación de regulación del sistema de calderas de vapor**

Las razones para distribuir la potencia total entre varias unidades son:

- Diferencia entre el menor y el mayor consumidor de calor.
- Fluctuación cíclica de la demanda de vapor, por ejemplo, entre el día y la noche.
- Diferente demanda de vapor en días laborables frente a fines de semana.

La menor necesidad de potencia suele ser muy inferior a la menor carga de una unidad de caldera individual, por lo que tiene sentido adaptar la distribución de la potencia a la carga ligera. De este modo, se evita una operación de encendido y apagado del sistema de combustión, costosa y contaminante para el medio ambiente, así como un desgaste prematuro.

En los sistemas a gran escala, el límite de potencia de la fuente de calor determina el número de unidades. Lo ideal es que la potencia total se distribuya entre unidades de idéntica construcción. La reducción del número de piezas de repuesto almacenadas y la posibilidad de sustituir las piezas son razones suficientes para ello. Si no se puede conseguir un funcionamiento eficaz con la carga más pequeña utilizando la unidad más pequeña determinada de este modo, solo entonces deberá utilizarse una unidad adaptada de carga baja.

→ Reporte técnico FB027: cargas evitables en las calderas pirotubulares de vapor

### **Duración del encendido del sistema de mantenimiento de arranque en frío/calor**

La rápida disponibilidad de la máxima potencia de vapor es en ocasiones también una buena razón para usar un sistema de varias calderas. Mientras que una caldera fría necesita aproximadamente una hora hasta que alcanza el estado de funcionamiento y está lista para suministrar toda su potencia, una caldera que se ha mantenido caliente y se encuentra en estado de espera puede responder a una solicitud de este tipo en solo 5 minutos. En este proceso, el mantenimiento del calor es más eficaz y cuidadoso si se emplea un serpentín de calefacción calentado por vapor frente a un sistema de combustión.

→ Tecnología – Capítulo 3.2: Sistema de mantenimiento del calor, página 145

### **Optimización de los costes de funcionamiento**

La cuestión de cuántas calderas deben instalarse en un sistema y cuáles son sus respectivas potencias debe estudiarse con vistas a reducir (al mínimo) los costes de funcionamiento. Especialmente en los casos en los que la demanda de vapor fluctúa cíclicamente, por ejemplo, la carga entre semana o si la carga de calefacción fluctúa en función de la estación, tiene sentido no seleccionar la misma potencia de caldera para las unidades individuales.

### **Uso del control secuencial**

Los esfuerzos de la caldera y los costes de funcionamiento pueden optimizarse definiendo cada caldera como caldera de carga base o caldera de carga punta y utilizando un control secuencial de última generación.

→ Tecnología – Capítulo 4.6: Sistema de control SCO, página 206



### Espacio necesario: requisitos de instalación

La mayoría de los sistemas de calderas se instalan en una sala de calderas independiente, o al menos en una zona separada del edificio, ya que deben observarse condiciones especiales relativas a la instalación y el funcionamiento debido a los peligros potenciales asociados a su funcionamiento.

En algunos países, como Alemania, en el caso de calderas más pequeñas con menor relevancia para la seguridad, puede haber requisitos reducidos en cuanto a la ubicación de la caldera (consulte los requisitos de su país):

Requerimiento	Valor máximo
Producción máxima de vapor de la caldera	2,000 kg/h
Presión de servicio máxima admisible	32 bar
Contenido máximo de agua hasta agua baja	10,000 l
Producto máximo del contenido de agua y la presión de servicio admisible	20,000 l · bar

**Tab. 4** Caldera de vapor con condiciones de instalación facilitadas (ejemplo Alemania)

En algunos sistemas puede ser necesario, debido a las condiciones de instalación, que la producción total de vapor sea compartida por varias calderas que cumplan las condiciones anteriores. En hospitales, pequeñas lavanderías o plantas de producción de alimentos se utilizan con frecuencia condiciones de instalación más sencillas si no se dispone de una sala de calderas independiente y las calderas pueden instalarse, por ejemplo, en el sótano.

### Distribución razonable de la potencia de la caldera

En la siguiente tabla se indican a modo de ejemplo una serie de requisitos en relación con la seguridad contra fallos y el rango de regulación requerido, así como la distribución sensible de la potencia de la caldera entre varias calderas, con el fin de satisfacer los requisitos:

Requerimiento	Distribución de la potencia de la caldera
Seguridad contra fallos del 100 % de la producción de vapor	100:100, entre 2 calderas
Seguridad contra fallos del 80 % de la producción de vapor	80:80, entre 2 calderas
Seguridad contra fallos del 50 % de la producción de vapor	50:50:50, entre 3 calderas
Rango de regulación > 1:8	50:50, entre 2 calderas or 1 caldera con doble tubo de llama
Rango de regulación > 1:20	30:70, entre 2 calderas
Rango de regulación ≤ 1:20 +tasa de error 80 %	40:40:40, entre 3 calderas

**Tab. 5** Distribución de la potencia de la caldera para satisfacer los ejemplos de requisitos

Son posibles otras combinaciones para distribuir la potencia de la caldera entre varias calderas. Los costes de inversión, funcionamiento y mantenimiento deben tenerse en cuenta a la hora de decidir la distribución de la potencia de vapor.

Cuando la potencia total se distribuye entre varias calderas, debe usarse un control secuencial. Este aplica la lógica de conexión/desconexión y de mantenimiento del calor de cada una de las calderas de vapor.





## 4 Combustible

Los siguientes combustibles se utilizan en la mayoría de los sistemas de calderas de vapor:

- Gas Natural
- Fuelóleo

Estos combustibles están más o menos disponibles en todas partes y, en gran medida, normalizados, por lo que son de gran calidad.

Sin embargo, pueden utilizarse otros combustibles para generar vapor:

- Petróleo medio o pesado.
- Otros gases (p. ej. hidrógeno, GLP, GNL).
- Biocombustibles (por ejemplo, gases pobres, gases residuales y biogases).
- Subproductos contaminados de la industria química (por ejemplo, estireno, tolueno).
- Subproductos de otras industrias (por ejemplo, grasa animal, aceite de pescado).

La elección del combustible depende inicialmente de la disponibilidad en el lugar de instalación previsto. El petróleo se suministra a través de camiones cisterna, mientras que en el caso de una gasolinera, debe disponerse de gas de trasvase desde la red de distribución de gas.

Si los requisitos de seguridad de suministro son elevados, también pueden utilizarse dos combustibles en la misma caldera. En este caso, normalmente se emplea gas como combustible principal y aceite combustible como combustible de sustitución.

La economía es otro factor importante en la selección del combustible. A la hora de comparar costes, debe garantizarse una comparabilidad exacta. Cuando se emplea gas como combustible, el precio de comparación puede obtenerse directamente de la factura del gas o solicitarse al proveedor de gas. Los precios de suministro del aceite combustible se publican en Internet.

→ Planeación – Capítulo 4.3: Criterios de selección entre fuelóleo y gas natural, página 56

Aparte de los costes del combustible, hay que tener en cuenta los costes secundarios de funcionamiento, mantenimiento e inspección de los sistemas de calderas y, posiblemente, los costes de ocupación de los edificios adyacentes.

En general, las calderas de gas suelen ser más económicas, razón por la cual muchos sistemas existentes se han reconvertido de quemadores de gasóleo a quemadores de gas o de doble combustible en la última década.

Además del coste, el impacto sobre el medio ambiente durante la combustión varía en función del combustible utilizado y debe tenerse en cuenta. En particular, las emisiones permitidas en el lugar de instalación del sistema de calderas desempeñan un papel importante. Cuando se usa como combustible, el gas natural tiene una menor emisión de contaminantes en términos de emisiones de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_2$ .

## 4.1 Fuelóleo

Cuando se utilizan aceites minerales como combustible, deben tenerse en cuenta diversos requisitos adicionales derivados de las normativas sobre contaminación del agua y prevención de incendios, especialmente en relación con la entrega, el almacenamiento y la distribución.

### Fuelóleo extra ligero (EL)

El fuelóleo del tipo extra ligero (líquido), es una fuente fiable y fácilmente disponible y normalmente se suministra en un camión cisterna.

Tomando como ejemplo a Alemania, estos son los siguientes tipos de fuelóleo extra ligero disponibles:

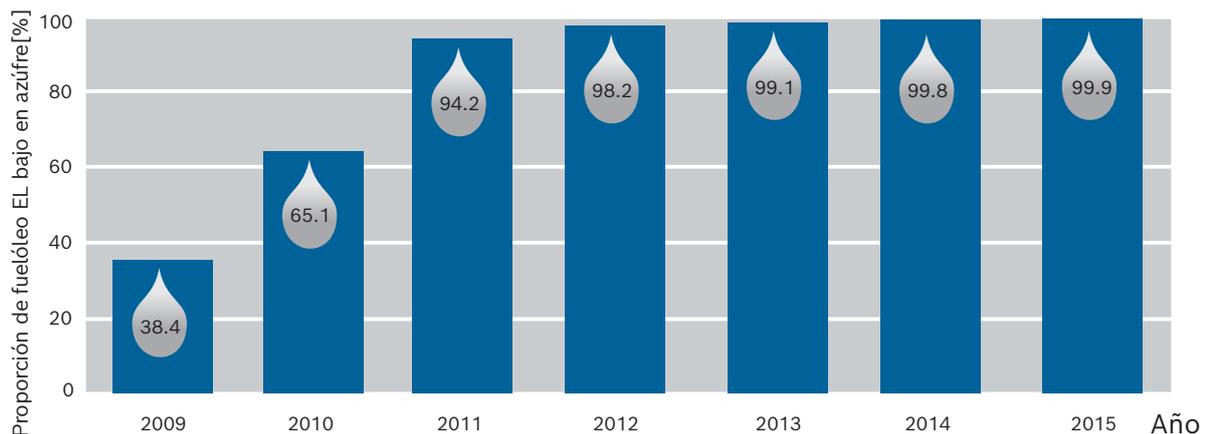
- Fuelóleo extra ligero, estándar.
- Fuelóleo extra ligero, bajo en azufre.
- Fuelóleo biológico extra ligero.

El tipo de fuelóleo más popular es el fuelóleo extra ligero bajo en azufre, que tiene un contenido máximo de azufre de 50mg/kg. Gracias a su favorable fiscalidad, ha alcanzado una cuota de mercado de casi el 100%. También es ideal para la tecnología de condensación, ya que tiene una tendencia a ensuciarse aún menor que el fuelóleo extra ligero.

→ Tecnología – Capítulo 3.4: Intercambiador de calor de condensación, página 152

El fuelóleo biológico extra ligero es fuelóleo bajo en azufre al que se añade hasta un 5, 10 o 15% de combustible líquido procedente de materias primas renovables. En la actualidad se utiliza biodiésel como norma general.

Los requisitos mínimos y las pruebas del fuelóleo extra ligero se definen en la norma DIN 51603-1.



**Fig. 9** Cuota de mercado del fuelóleo con bajo contenido en azufre en Alemania <sup>1)</sup>

### Fuelóleo pesado (HFO)

El fuelóleo pesado se emplea para los generadores de vapor más o menos exclusivamente en grandes sistemas industriales. Se produce durante el refinado del crudo en la parte inferior, el llamado sumidero de las torres de destilación, donde se eliminan los componentes del crudo con un punto de ebullición elevado. Contiene principalmente moléculas grandes y relativamente pesadas, como alcanos y

1) IWO – Instituto de Tecnología de Calefacción y Petróleo



alquenos de cadena larga, cicloalcanos y diversos hidrocarburos aromáticos. También contiene diversos compuestos de nitrógeno y azufre.

El fuelóleo pesado es viscoso y debe calentarse a una temperatura superior a 60 °C para que pueda fluir por las tuberías. La temperatura de atomización necesaria para la combustión oscila incluso entre 100 y 160 °C. Los requisitos de viscosidad de atomización son mucho mayores en los quemadores de gasóleo de chorro a presión que en los quemadores de copa giratoria, por lo que el gasóleo debe precalentarse a temperaturas más elevadas.

El fuelóleo pesado contiene hasta un 3.5% en masa de azufre, tiene tendencia a dejar depósitos pesados en el recorrido de los gases de combustión y estos no deben enfriarse por debajo del punto de rocío ácido, de unos 120 - 150 °C. Además, a veces se requieren medidas especiales (por ejemplo, inyección de urea) para cumplir con las emisiones de gases de combustión.

Tiene muchas desventajas en comparación con el uso de fuelóleo extra ligero y gas natural que, en general, no se ven compensadas por su bajo precio.

## 4.2 Gas natural

El uso de gas natural suele recomendarse si se dispone de suministro de gas natural en el lugar previsto para la instalación de la caldera. Al conectarse a la red de suministro, no es necesario abastecerse de combustible y, en el mercado desregulado del gas, es fácil cambiar de proveedor. Se necesita mucho menos espacio para la estación de transferencia de gas en comparación con el depósito de almacenamiento de gasóleo, incluidos los sistemas auxiliares. Además, el gas natural de la red pública es apto para su empleo sin restricciones con tecnología de condensación.

→ Tecnología – Capítulo 3.4: Intercambiador de calor de condensación, página 152

Otro punto a favor del gas combustible es que el rango de control para el funcionamiento a carga parcial es significativamente mayor que en el caso del gasóleo. Mientras que los quemadores de gasóleo normalmente solo alcanzan un rango de carga parcial de 1:5, los quemadores de gas más modernos pueden cubrir el doble del rango de carga parcial, es decir, un rango de regulación de hasta 1:10.

Para diseñar el suministro de combustible con gas, es necesario conocer el valor calorífico neto del gas, la presión del caudal de gas disponible en el lugar de instalación de la caldera y la información sobre las cantidades máximas de calor disponibles a través de la conexión de gas. Esta información puede obtenerse del operador local de la red de gas.

### 4.3 Criterios de selección entre fuelóleo y gas natural

Los factores más importantes que influyen en la selección del combustible están en la siguiente tabla:

Criterio	Fuelóleo extra ligero	Gas natural	Ventaja/desventaja del gas natural
Almacén de combustible	Sí	No	+
Conexión	No	Sí	-
Disponibile en todas partes	Sí	No	-
Estabilidad de precios	No	Sí, limitado (→ Fig. 10)	+
Financiación previa	Sí (proveedor)	No	+
Costes del quemador	Neutral	Incremento	-
Rango de control	hasta 1:5	hasta 1:8	+
Suciedad de la superficie de combustión	Baja	Ninguna	+
Uso de condensación	Buena (eficiencia ≤ 99%)	Muy buena (eficiencia ≤ 104%)	+
Transporte de combustible	Necesario	No requerido	+
Emisión de contaminantes	Baja	Muy baja	+
Generación de CO <sub>2</sub>	~ 266 gCO <sub>2</sub> /kWh	~ 200 gCO <sub>2</sub> /kWh	+

Tab. 6 Criterios de selección entre fuelóleo y gas natural como combustible <sup>II)</sup>

#### Evolución de los precios de los combustibles para clientes industriales (Alemania)

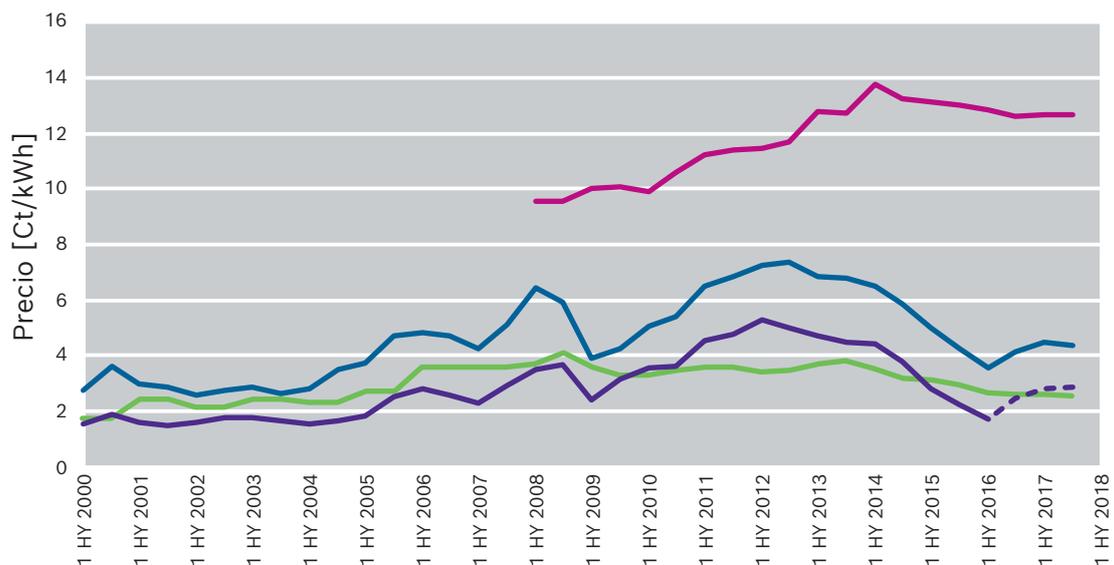


Fig. 10 Evolución de los precios de la energía para clientes industriales en Alemania <sup>II)</sup>



II) Oficina Federal de Estadísticas

**Notas <sup>III)</sup>:**

- Gas, electricidad: detalles para clientes industriales, los precios incluyen el impuesto de compra y excluyen el IVA.
- Fuelóleo: detalles para el comercio mayorista, los precios incluyen el impuesto sobre el petróleo y la tasa de almacenamiento de petróleo y excluyen el IVA.
- Conversión de los precios del fuelóleo extra ligero con una densidad de 0.84 kg/l y un poder calorífico neto de 11.89 kWh/kg.
- Conversión de los precios del fuelóleo pesado de 11 kWh/kg.
- Fuelóleo pesado: datos específicos solo disponibles hasta diciembre de 2016, después de esta fecha los datos se extrapolan a través de los índices de precios.

## 4.4 Otros combustibles

Si se utilizan otros combustibles distintos del gas natural o el fuelóleo, deberá prestarse especial atención en estos casos.

También pueden utilizarse los siguientes combustibles:

- Otros gases (p. ej. hidrógeno, GLP, GNL).
- Biocombustibles (por ejemplo, gases pobres, gases residuales y biogases).
- Subproductos contaminados de la industria química (por ejemplo, estireno, tolueno).
- Subproductos de otras industrias (por ejemplo, grasa animal, aceite de pescado).

Las características de combustión de estos combustibles deben tenerse en cuenta al diseñar el sistema de combustión, los componentes auxiliares, la caldera y al idear medidas adecuadas de recuperación del calor de los gases de combustión.

En este contexto, deben tenerse en cuenta, en particular, las siguientes características:

- Combustibles con alto contenido en azufre (por ejemplo, biogás).
- Combustibles que contienen cloro (por ejemplo, subproductos de la industria química).
- Combustibles que dejan depósitos pesados en las superficies de calentamiento (por ejemplo, los denominados “re-refinados”).
- Combustibles con un poder calorífico neto especialmente elevado que, por lo tanto, someten al hogar de combustión a mayores esfuerzos térmicos (por ejemplo, el hidrógeno).

III) Oficina Federal de Estadísticas





## 5 Instalación

A la hora de ubicar la sala de calderas en las instalaciones de operación, deben tenerse en cuenta, entre otros, los siguientes requisitos:

- Suministro y almacenamiento de combustible.
- Espacio necesario para la sala de calderas y el conducto de humos.
- Posibilidad de ampliación del sistema.
- Emisiones sonoras (especialmente para los vecinos).
- Situación de las instalaciones de producción en las instalaciones de explotación (rutas más cortas posibles hacia los consumidores).
- Zonas de incendio.
- Aspectos arquitectónicos y de diseño

Algunos de estos requisitos no pueden satisfacerse plenamente de una sola vez, sobre todo en empresas que han evolucionado durante un largo periodo de tiempo. Por tanto, la ubicación no será necesariamente la ideal para todos los requisitos, sino que representará un compromiso entre los requisitos operativos y técnicos y la rentabilidad.

### 5.1 Cuarto de instalación

A continuación se exponen una serie de requisitos básicos para el cuarto de instalación de la caldera. Esta información se facilita únicamente como ayuda para la planificación. Además, deben respetarse todos los reglamentos locales y nacionales pertinentes y las normas aplicables.

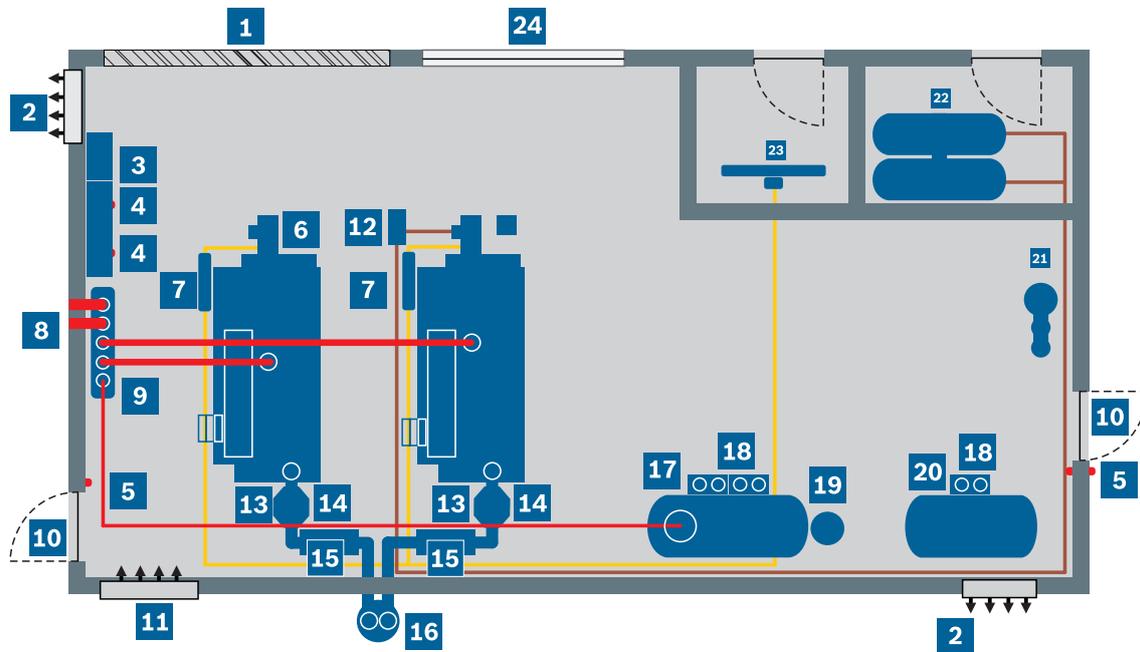
→ Información técnica TI024: requisitos para salas de instalación de calderas - notas sobre la instalación de calderas y componentes de salas de calderas.

#### Requisitos fundamentales

El cuarto de instalación debe cumplir los siguientes requisitos:

- El cuarto de instalación de la caldera debe mantenerse limpio y sin polvo ni goteo de agua.
- La temperatura ambiente debe oscilar entre 5°C y 40°C.
- Se prohíbe la entrada en el cuarto de instalación de la caldera a personal no autorizado.
- Hay que asegurarse de que las medidas de aislamiento acústico cumplen la normativa local.
- Los armarios de control deben instalarse de forma que no estén expuestos en modo alguno a vibraciones o sacudidas de los componentes del sistema.
- Los armarios de control deben instalarse en zonas en las que estén protegidos de la radiación térmica no permitida y a las que se pueda acceder con seguridad incluso en condiciones potencialmente peligrosas.
- Debe disponerse de suministro de aire comprimido para la descarga del fondo y, en caso necesario, para otros actuadores neumáticos.
- Deben existir posibilidades de escape con botones de parada de emergencia, situados uno frente al otro, siempre que sea posible.
- Debe garantizarse una iluminación suficiente, especialmente en la zona de las válvulas y los dispositivos de seguridad.
- Deben existir posibilidades de fijación de las tuberías en paredes y techos.

- Todo cuarto de instalación de calderas debe disponer de una superficie exterior de pared o techo continua o casi continua, libre, de al menos 1/10 de la superficie del suelo (o según la normativa local), que cederá mucho más fácilmente que las demás paredes circundantes si se produce un exceso de presión en el cuarto de instalación de calderas. A la hora de definir la superficie de alivio de presión deben respetarse los reglamentos nacionales y locales pertinentes y las normas vigentes.



**Fig. 11** Ejemplo de sala de calderas (representación simplificada)

- |  |   |
|--|---|
| <b>1</b> Espacio libre de montaje          | <b>13</b> Economizador integrado ECO            |
| <b>2</b> Aire de extracción (arriba)       | <b>14</b> Intercambiador de condensación        |
| <b>3</b> Control del sistema               | <b>15</b> Silenciador                           |
| <b>4</b> Control de la caldera             | <b>16</b> Conducto de humos                     |
| <b>5</b> Botón de parada de emergencia     | <b>17</b> Módulo de servicio de agua WSM        |
| <b>6</b> Caldera                           | <b>18</b> Módulo de bombeo PM                   |
| <b>7</b> Módulo de regulación de gas GRM   | <b>19</b> Vaso de expansión BEM                 |
| <b>8</b> Tubería de vapor, consumidor      | <b>20</b> Módulo de servicio de condensados CSM |
| <b>9</b> Distribuidor de vapor             | <b>21</b> Módulo de tratamiento de agua WTM     |
| <b>10</b> Vía de escape                    | <b>22</b> Depósitos de aceite                   |
| <b>11</b> Suministro de aire (abajo)       | <b>23</b> Estación de transferencia de gas      |
| <b>12</b> Módulo de alimentación de aceite | <b>24</b> Área de alivio de presión             |
- 
- |   |
|---|
| <span style="color: red;">—</span> Vapor    |
| <span style="color: yellow;">—</span> Gas   |
| <span style="color: brown;">—</span> Aceite |

Identificación de tuberías según la norma DIN 2403  
 → Herramientas – Tab. 76, página 414



## Accesibilidad

La caldera y los componentes del sistema deben colocarse de forma que las válvulas, los sensores y todos los orificios de inspección montados sigan siendo accesibles. En algunos aspectos, solo tiene sentido colocar la caldera y también varios componentes del sistema en una pared. Debe dejarse un espacio libre de al menos 1 m de ancho, especialmente en el lado de funcionamiento de la caldera y los componentes. También hay que asegurarse de que las superficies transitables sean lo suficientemente altas.

## Cimentación e instalación

Debe garantizarse que se cumplen los siguientes requisitos para la cimentación y la instalación:

- Debe garantizarse que el suelo del lugar de instalación esté perfectamente nivelado (tolerancia de regularidad con referencia a DIN 18202) y tenga suficiente capacidad de carga.
- Al calcular la capacidad de carga de los cimientos, debe tenerse en cuenta el peso máximo de funcionamiento de los componentes en cuestión. A la hora de determinar el peso en funcionamiento, deben tenerse en cuenta los componentes adicionales (por ejemplo, gabinete de control, quemador, silenciador, tubos de escape) y su peso acumulado. El peso operativo es el peso de los componentes cuando están llenos.
- Los canales existentes en el suelo deben cubrirse y equiparse con instalaciones de drenaje.
- La entrada a la sala de instalación de la caldera debe diseñarse de acuerdo con las dimensiones de los componentes individuales. El local de instalación de la caldera debe disponer de medios de elevación adecuados para desplazar equipos pesados.
- Si es necesario separar el lugar de instalación del sistema para reducir el ruido transmitido por las estructuras, antes de instalar el sistema deben colocarse debajo bandas de aislamiento acústico.

## Aberturas de impulsión y retorno de aire

El suministro de aire debe estar libre de sustancias extrañas y no debe contener polvo ni componentes corrosivos o explosivos, como disolventes o refrigerantes. En el caso de las calderas de recuperación de calor en combinación con la unidad generadora de calor residual (unidad combinada de calor y electricidad o turbina de gas), deberán observarse las indicaciones adicionales del fabricante de la unidad que produce el gas de calor residual.

Si la ventilación de la sala de calderas es insuficiente o el aire necesario para el sistema de combustión se aspira independientemente del aire de la sala (ej, a través de conductos de aire procedentes de otras salas o de la atmósfera), deberán instalarse uno o varios dispositivos de control de CO en la sala de calderas.

Lo ideal es que la abertura de entrada de aire esté situada en la zona trasera de la caldera. Si esto no es posible por motivos estructurales, instale deflectores o canales de chapa en el interior de la sala de instalación de la caldera para desviar el aire de entrada. Al planificar las aberturas de aire de impulsión, también debe tenerse en cuenta la disposición de los componentes del sistema sensibles a las heladas (ej, el tratamiento del agua) que no pueden instalarse directamente en el flujo de aire de impulsión.

También deben preverse aberturas para el aire de extracción. Su finalidad es eliminar el calor que se acumula bajo el techo, incluso cuando la pérdida de calor en la sala de calderas es baja.

Las aberturas para el aire de impulsión deben instalarse a 500 mm por encima del suelo de la sala de calderas; las aberturas para el aire de extracción deben instalarse en el punto más alto de la sala de instalación. En este caso también debe garantizarse la ventilación cruzada.

Los orificios de impulsión y retorno de aire deben dimensionarse adecuadamente para obtener una presión de  $\pm 0$  mbar en el local de instalación de la caldera. Las fórmulas de cálculo que figuran a continuación deben considerarse como una recomendación no vinculante. Es esencial que el instalador del sistema solicite el acuerdo de la autoridad responsable de la homologación o del control de la construcción. En el dimensionado deben tenerse en cuenta los consumidores adicionales de aire de impulsión (por ejemplo, compresores).

Grup0	Límites	Secciones transversales del aire de impulsión (fórmula)
Sz 1	$\dot{Q} \leq 2,000 \text{ kW}$	$F_{GR} 1 = 300 + (\dot{Q} - 50) \cdot 2.5$
Sz 2	$2,000 \text{ kW} < \dot{Q} \leq 20,000 \text{ kW}$	$F_{GR} 2 = 5,175 + (\dot{Q} - 2,000) \cdot 1.75$
Sz 3	$20,000 \text{ kW} < \dot{Q}$	$F_{GR} 3 = 36,675 + (\dot{Q} - 20,000) \cdot 0.88$
$F_{GR}$	Sección transversal de flujo libre [cm <sup>2</sup> ]	
$\dot{Q}$	Potencia térmica	

La relación lateral no debe ser superior a 1:2. Cada una de las secciones de aire de extracción requeridas corresponde al 60% de las secciones de aire de impulsión.

Las secciones especificadas deben planificarse como aberturas libres (secciones netas). También debe tenerse en cuenta el sombreado mediante rejillas o celosías.

Si el aire de combustión se conduce al quemador a través de canales de entrada de aire, deberá garantizarse una trayectoria de flujo optimizada y un dimensionado adecuado con respecto a la pérdida de presión. La pérdida de presión debe tenerse en cuenta en el diseño de la combustión. Cualquier condensado que se acumule en los conductos de entrada de aire debe eliminarse antes del ventilador de aire de combustión.

### Tuberías

Las tuberías deben diseñarse de acuerdo con la normativa nacional y local y las normas aplicables, teniendo en cuenta las pérdidas de presión y las velocidades de flujo resultantes.

Para obtener valores orientativos sobre dimensionamiento, selección de materiales y muchos otros aspectos, consulte el capítulo Tecnología.

→ Tecnología – Capítulo 5.1: Tuberías, página 211

## 5.2 Condiciones de instalación

Las condiciones de instalación, como la altitud de la instalación, la ubicación costera, las condiciones generales de construcción y/o el suministro eléctrico, tienen un efecto significativo en el diseño del sistema de caldera de vapor.

La altitud de la instalación, por ejemplo, afecta a la presión ambiente y la estanqueidad afecta al diseño del ventilador de aire de combustión. En actitudes de instalación muy elevadas, >1.000 m, deben tenerse en cuenta aspectos adicionales como la menor refrigeración de los motores con bombas.

El aire salino de las regiones costeras favorece la corrosión, que afecta, por ejemplo, a los materiales del quemador y la chimenea.

El suministro eléctrico (tensión y frecuencia) debe tenerse en cuenta en el armario de control y en los motores (por ejemplo, de ventiladores, bombas y válvulas).



## 6 Normativa

Las instalaciones de calderas de vapor suelen estar sujetas a un control obligatorio y deben observarse y cumplirse diversas condiciones marco legales en la fabricación de los componentes, durante la planificación y construcción y en la explotación de la instalación. Los siguientes requisitos se estipulan en todos los ámbitos de la legislación (y la supervisión):

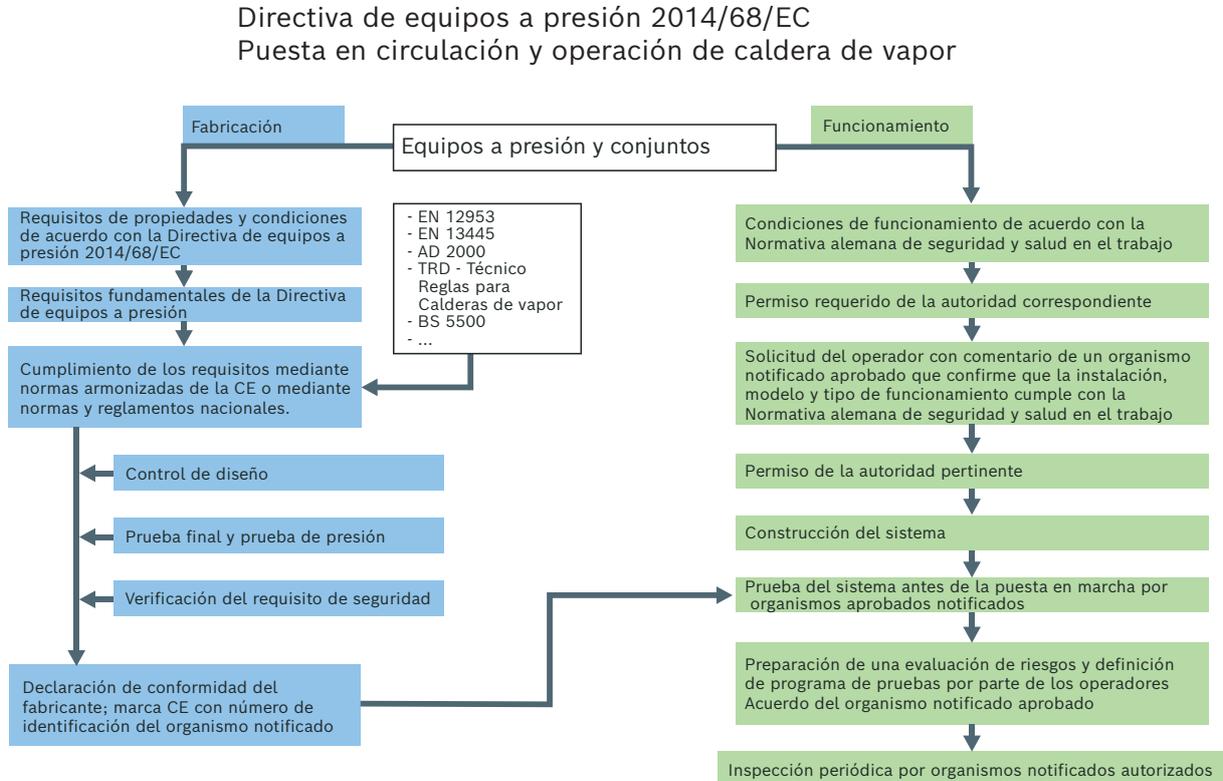
- **Directivas y ordenanzas europeas**, como la directiva sobre equipos a presión, la directiva sobre máquinas, la directiva sobre baja tensión, la directiva sobre aparatos de gas, la directiva sobre compatibilidad electromagnética, la directiva sobre sustancias peligrosas y la directiva sobre protección contra explosiones.
- **Leyes y normativas nacionales**, como la normativa alemana sobre salud y seguridad en el trabajo, la Ley de control de emisiones e inmisiones, la Ley de salud y seguridad en el trabajo, la Ordenanza sobre sustancias peligrosas y la Ley de recursos hídricos.
- **Normativas regionales y locales**, como reglamentos de construcción, conservación del agua, seguridad contra incendios, requisitos adicionales sobre emisiones.

A continuación se describen las leyes, directivas, ordenanzas y normas más importantes que rigen la instalación y el funcionamiento de un sistema de calderas de vapor. Se clasifican en los siguientes grupos:

- Fabricación de sistemas de calderas.
- Leyes de emisión y protección contra inmisiones.
- Normas de homologación/permiso de explotación.
- Funcionamiento de los sistemas de calderas.

En este caso hay que tener en cuenta que se aplican otras directivas de la Unión Europea o leyes y reglamentos nacionales.

Tomando como ejemplo a Alemania, el siguiente diagrama muestra el procedimiento básico y se divide en dos partes: la fabricación, a la que se aplica la legislación europea, y la operación, a la que se aplica predominantemente la legislación nacional.



**Fig. 12** Procedimiento de fabricación y funcionamiento basado en la Directiva 2014/68/UE sobre equipos a presión<sup>IV)</sup>

- Legislación de la UE
- Legislación alemana

**DGRL:** Directiva 2014/68/UE sobre equipos a presión

**BetrSichV:** Ordenanza alemana sobre seguridad industrial y salud en relación con el uso de equipos y materiales

**ZÜs:** Organismo notificado autorizado

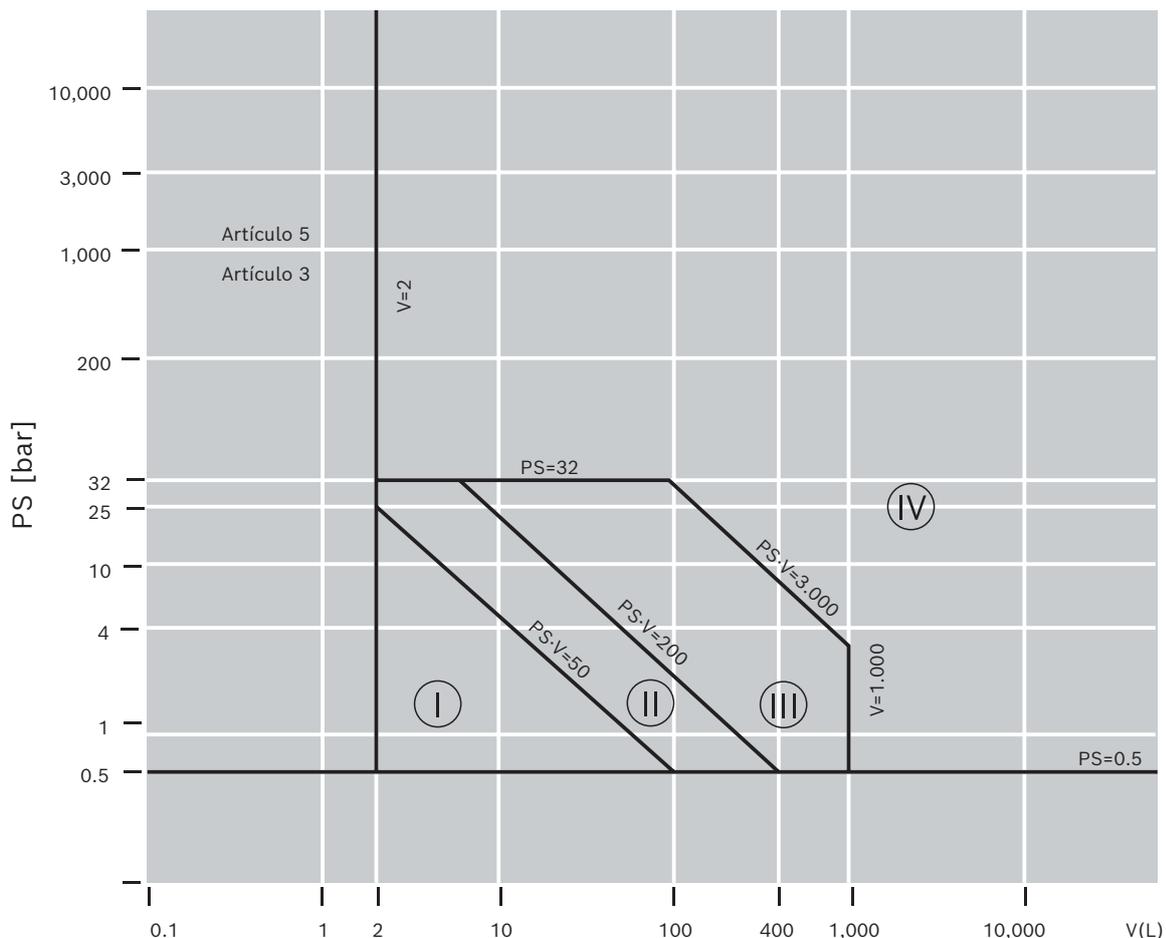
IV) Autoridad de Inspección Técnica de Renania (TÜV Rheinland)



## 6.1 Fabricación

La fabricación y distribución de sistemas de calderas está regulada en la legislación nacional mediante la aplicación de la Directiva sobre equipos a presión (Directiva 2014/68/UE de la UE). Por ejemplo, en Alemania, esto se hace en la 14ª Ordenanza sobre la Ley de Seguridad de Equipos y Productos (Reglamento de Equipos a Presión). En ella se describe el diseño, la fabricación, el material, los ensayos y la preparación de la declaración de conformidad de los equipos a presión. Así se definen unos requisitos de calidad válidos y uniformes en la UE que permiten la libre circulación y, en consecuencia, el libre comercio de mercancías y la primera puesta en servicio. Los fabricantes de sistemas de calderas deben hacer evaluar la conformidad de sus productos y, como resultado, expedir un certificado de conformidad y colocar el marcado de la UE.

Un límite importante que define si una caldera o un recipiente a presión está regulado por la Directiva sobre equipos a presión es la presión de funcionamiento máxima admisible de 0.5 bar. Si la presión de funcionamiento máxima admisible no es superior, como ocurre por ejemplo con las calderas de baja presión, se aplican las denominadas “buenas prácticas de ingeniería” en relación con su fabricación. Todas las demás calderas de vapor se asignan a categorías de la Directiva sobre equipos a presión de acuerdo con el apéndice II a medida que aumenta el peligro potencial. El producto del contenido de agua y la presión de funcionamiento admisible es decisivo para la clasificación. La mayoría de las calderas de vapor pertenecen a la categoría IV.



**Fig. 13** Clasificación de las calderas de vapor en categorías de módulos de conformidad con la Directiva sobre equipos a presión

Los numerosos certificados y homologaciones de nuestros productos en más de 140 países de todo el mundo dan fe de los elevados estándares de calidad y producción de Bosch Industriekessel. Todas las calderas y componentes de calderas y de salas de calderas de Bosch cumplen las directivas europeas vigentes en relación con el mercado CE, especialmente la Directiva sobre aparatos a presión o aparatos de gas, basándose en normas técnicas (entre otras TRD, AD 2000 y normas EN como EN 12953). La mayoría de nuestros productos y componentes se someten a ensayos de tipo CE. Las soluciones personalizadas reciben un permiso individual de fábrica de una institución oficial de pruebas.

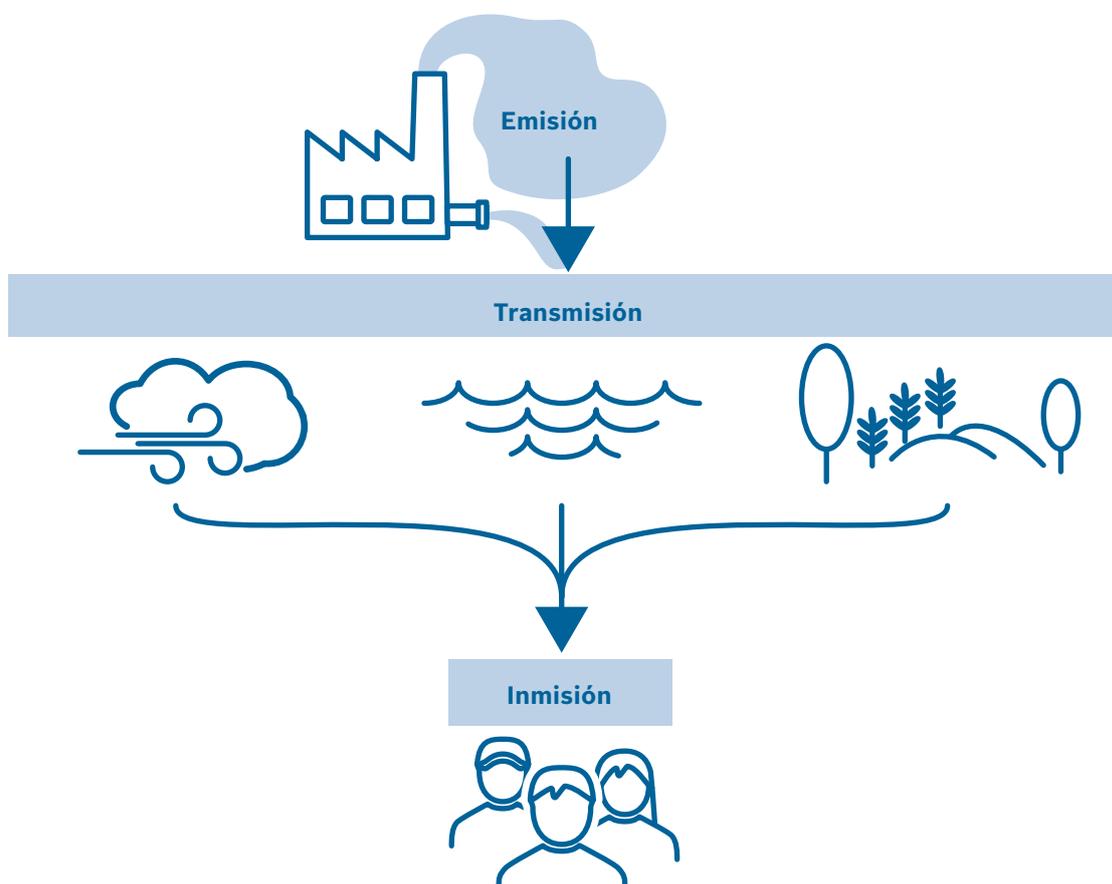
Gestionamos nuestros productos según las normas nacionales vigentes, por ejemplo, (Unión Aduanera Euroasiática), TSG G0001 (China), SVGW/VKF (Suiza) y muchas más. Nuestros equipos según EN 12953 para los sistemas de calderas están homologados para el funcionamiento sin asistencia continua (BOSB 72 h).

Las plantas de fabricación de Bosch Industriekessel están equipadas con los sistemas de gestión de calidad certificados necesarios, p. ej. EN ISO 9001, EN ISO 14001, Módulo D según la Directiva de aparatos a presión, MLSE (China). Además, Bosch Industriekessel es un fabricante certificado en el nivel más alto de exigencia de calidad para la soldadura según EN ISO 3834 (parte 2). Para los tubos ondulados de llama existe una cualificación del proceso según TRD y la Directiva de aparatos a presión. Gracias a nuestra licencia como empresa de mantenimiento de sistemas de calderas y a nuestra red de servicio internacional, podemos prestar servicio en más de 140 países de todo el mundo, en algunos casos con disponibilidad 24 horas al día, 7 días a la semana.



## 6.2 Emisiones e inmisiones

En la mayoría de los países del mundo existen normativas sobre emisiones y/o inmisiones para proteger el medio ambiente y a las personas que son relevantes para el funcionamiento de un sistema de caldera de vapor y deben tenerse en cuenta en la planificación.



**Fig. 14** Diferencia entre emisión, transmisión e inmisión

- **Emisión** es la liberación de contaminantes al medio ambiente. Proceden, por ejemplo, de centrales eléctricas, instalaciones industriales y vehículos de motor en funcionamiento. La fuente de emisiones (persona u objeto) se denomina emisor.
- **Transmisión** se refiere a la distribución de las emisiones a través del aire, el agua o el suelo.
- **Inmisión** se refiere a la contaminación del aire, el agua o el suelo que afecta a las personas o a otros organismos.

**Las siguientes emisiones están normalmente controladas y son relevantes para un sistema de caldera:**

- Emisiones a la atmósfera (gases de combustión procedentes de los sistemas de combustión).
  - Óxido de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ )
  - Compuestos de azufre ( $\text{SO}_2$ )
  - Monóxido de carbono (CO)
- Sonido
- Aguas residuales y protección del agua

- Entrega, almacenamiento y distribución de sustancias contaminantes del agua (por ejemplo, fuelóleo).
- Introducción de aguas residuales cuyo contenido está sujeto a requisitos (por ejemplo, valor de pH, temperatura).

## 6.3 Sistemas de combustión

### 6.3.1 Normativa y directrices europeas

En Europa, las siguientes directrices proporcionan el marco jurídico y definen los requisitos mínimos que deben formularse con mayor precisión a escala nacional o regional.

Validez/potencia de combustión	Directriz
≤ 400 kW	Directiva <b>EuP</b> 2005/32/EC <b>sobre productos que utilizan energía</b>
1 ... 50 MW	Directiva <b>MCPD</b> EU 2015/2193 <b>sobre instalaciones de combustión medianas</b>
> 50 MW	Directiva <b>IED</b> 2010/75/EU <b>sobre emisiones industriales</b>

**Tab. 7** Validez de las directivas europeas sobre equipos de combustión

Por tanto, existe un vacío entre 400 kW y 1 MW que debe cubrir la legislación nacional en ausencia de requisitos de la UE. Además, el importante tema del análisis de las emisiones no está definido en las directrices de la UE y, como resultado, puede tratarse de forma diferente de un país a otro.

Las potencias de combustión de los sistemas con varias fuentes de calor, en su caso, deben sumarse, según la MCPD y la IED. Esto depende básicamente de si los gases de combustión se eliminan a través de una chimenea compartida o si, en opinión de la autoridad competente, pueden eliminarse. Esto también permite libertad de interpretación en la legislación nacional y las normativas regionales, lo que significa que los sistemas de distintas partes de Europa pueden evaluarse de forma diferente.



## 6.4 Autorización

En general, la instalación de sistemas de calderas de vapor requiere una aprobación de las autoridades o un permiso. La naturaleza y el alcance del procedimiento de autorización dependen de la legislación nacional y regional del lugar de instalación. Normalmente, el procedimiento incluye una inspección de la planificación del sistema por parte de un organismo de inspección.

## 6.5 Funcionamiento

Para el funcionamiento de un sistema de caldera de vapor se aplican condiciones marco legales específicas de cada país. Estas condiciones vienen impuestas por diversos ámbitos legislativos, que suelen ser:

- Ley de calderas
- Legislación sobre salud y seguridad en el trabajo
- Legislación sobre aguas e inmisiones
- Normativa sobre sustancias y productos químicos peligrosos
- Seguridad contra incendios

A este respecto, deben observarse, entre otros, los siguientes puntos:

- Preparación y revisión periódica de una evaluación de riesgos.
- Determinación de los intervalos de inspección de las partes del sistema y del sistema global, instrucción de los organismos notificados aprobados para confirmar estos intervalos de inspección.
- Formación del personal de explotación.
- Disponibilidad de instrucciones de funcionamiento.
- Aplicación de las advertencias de peligro en las instrucciones de funcionamiento como instrucciones de trabajo.
- Elaboración de listas de comprobación para el encargado de la caldera.
- Mantenimiento de un registro de funcionamiento de la caldera.
- Mantenimiento periódico del sistema de calderas por parte del personal de explotación y mantenimiento y también de expertos.
- Realización de revisiones rutinarias de la caldera.





# Prevención de fallas

<b>1</b>	<b>En la planeación</b>	<b>73</b>
1.1	Producción de vapor	73
1.2	Suministro de combustible	74
1.3	Sala de instalación	75
<b>2</b>	<b>Durante la instalación</b>	<b>77</b>
2.1	Trazado de tuberías	77
2.2	Soporte	83
<b>3</b>	<b>Durante el funcionamiento</b>	<b>85</b>
3.1	Control de la calidad del agua	86
3.2	Cavitación en las bombas	89
3.3	Ajuste de la combustión	90
3.4	Contaminación y residuos en tuberías	92
3.5	Omisión de los equipos de seguridad	96
3.6	Trabajos peligrosos	97

## Aprender de los errores

“ Un hombre inteligente no comete todos los errores él mismo. También da una oportunidad a los demás.”

Winston Churchill <sup>IV)</sup>

El objetivo de este capítulo es ayudar a llamar su atención sobre los errores que pueden producirse durante la planificación, la instalación y el funcionamiento de los sistemas de calderas de vapor mediante una serie de ejemplos.

Para ello, deberá tener siempre presente lo siguiente:

- Mientras que el número de errores posibles es infinito, solo existe una solución para el sistema óptimo.
- También se cometen todos los errores imaginables.

Este capítulo está estructurado en función de los errores comunes que se producen

- durante la planificación,
- durante la instalación (o planificación detallada) y
- durante el funcionamiento

de los sistemas de calderas de vapor. Tarde o temprano, estos errores provocan daños en el sistema de calderas, situaciones potencialmente peligrosas, una reducción del rendimiento del sistema u otros problemas de funcionamiento. Esta lista no abarca todos los errores posibles, y tampoco pretende hacerlo.

Sin embargo, el mayor error que se puede cometer es no informar. Asimismo, le invitamos a que contribuya a evitar nuevos errores aportando ejemplos.

---

IV) Citas para gerentes: más de 2.600 adagios que comunican claramente su mensaje, 2018



# 1 En la planeación

Con frecuencia, los errores de planificación se deben a un conocimiento insuficiente del funcionamiento posterior o a que no se han tenido debidamente en cuenta los requisitos esenciales del sistema de calderas. Teniendo esto en cuenta, es útil verificar la plausibilidad de todos los datos existentes junto con todos los implicados en la planificación. Pueden surgir desviaciones significativas con respecto a la evaluación básica, sobre todo en el caso de proyectos de larga duración.

## 1.1 Producción de vapor

### 1.1.1 Sobredimensionamiento

El sobredimensionamiento en sí mismo no representa un problema para el funcionamiento continuado de un sistema de calderas. No obstante, sí aumenta la probabilidad de que un sistema funcione de forma no rentable y, debido a los ciclos del sistema de combustión, pueden producirse elevadas tensiones térmicas en el tubo de llama que pueden reducir la vida útil.

El sobredimensionamiento se produce con frecuencia si se planifican márgenes de seguridad en varios puntos. El operador planifica desde el principio teniendo en cuenta la ampliación posterior, el planificador se mantiene en el lado seguro y los fabricantes diseñan muchos componentes con un margen de seguridad incorporado.

- Problemas:**
- Funcionamiento poco rentable.
  - Altas tensiones debidas a los ciclos del sistema de combustión.
- Causa:**
- Potencia de vapor instalada superior a la demanda real.
- Soluciones:**
- Planificación correcta de la potencia de vapor.
  - Diseñar los sistemas para la menor capacidad de carga parcial posible.
  - Definir el concepto de funcionamiento a carga parcial.
  - Instalar una potencia de combustión menor.

→ Planeación – Capítulo 3.2.1: Producción máxima de vapor, página 47

### 1.1.2 Tamaño insuficiente

El subdimensionamiento plantea un importante problema de funcionamiento. Las calderas no equipadas con funciones de seguridad adecuadas caen por debajo de la presión de funcionamiento estándar. Cuando esto ocurre, cada vez se arrastra más agua por la tubería de vapor y se producen averías debido a las enormes fluctuaciones del nivel de agua.

- Problemas:**
- Cae la presión del vapor.
  - Aumenta la humedad del vapor.
  - No se pueden alcanzar las potencias caloríficas.
- Causa:**
- La potencia de vapor instalada es inferior a la demanda real
- Soluciones:**
- Planificación correcta de la potencia de vapor
  - Observar grandes escalones de carga
  - Planificar el control de secuencia de la caldera

## 1.2 Suministro de combustible

Al suministrar combustible para la combustión de gas, debe tenerse en cuenta, en particular, la presión del caudal de gas a plena carga. Si la presión del caudal de gas es demasiado baja, se producirán fallos en el sistema de combustión. A veces, la presión de flujo necesaria en el módulo de regulación de gas se transmite directamente al proveedor de gas sin tener en cuenta las resistencias en el conducto de gas entre la estación de transferencia de gas y el módulo de regulación de gas. También, hay que asegurarse de que exista una diferencia suficiente entre la presión de flujo de gas, necesaria para el funcionamiento, y los valores de ajuste de los equipos de regulación de presión y de seguridad, de modo que no se activen al cerrarse las electroválvulas dobles del sistema de combustión.

- Problemas:**
- No se alcanza la producción de vapor a plena carga.
  - Averías frecuentes del quemador.
- Causas:**
- Presión de flujo de gas en el módulo de regulación de gas demasiado baja.
  - Fuertes fluctuaciones en la presión del gas.
  - Filtro de gas sucio.
- Soluciones:**
- Planificación correcta de la línea de gas.
  - Limpieza del filtro de gas.
  - Deben tenerse en cuenta todas las resistencias entre el módulo de transferencia de gas y el módulo de regulación de gas de la caldera a potencia máxima.



**En la planeación** Durante la instalación Durante el funcionamiento

### 1.3 Sala de instalación

Para garantizar una combustión fiable, es esencial que las aberturas de suministro de aire de la sala de calderas sean lo suficientemente grandes y estén completamente abiertas cuando el quemador esté en funcionamiento. Si el aire de alimentación es insuficiente, pueden producirse problemas que van desde la formación de hollín hasta un encendido difícil que provoque graves daños en la caldera.

Si las tuberías con peligro de congelación, por ejemplo las tuberías de agua dulce, están situadas cerca de las aberturas de suministro de aire, debe tenerse en cuenta el riesgo de heladas en invierno.

Además, deben preverse aberturas de extracción de aire para evitar grandes tensiones térmicas por acumulación de calor bajo el techo de la sala de calderas. De hecho, el aislamiento de calderas, tuberías y válvulas es cada vez más eficaz, lo que reduce la potencia térmica de la sala de calderas. No obstante, el calor residual debe eliminarse de la sala de calderas. En particular, los equipos electrónicos de conmutación pueden fallar debido a las altas temperaturas ambientales.

- Problemas:**
- Aire insuficiente durante la combustión (formación de CO).
  - Presión negativa en la sala de calderas.
  - Acumulación de calor en la sala de calderas.
  - Riesgo de heladas en las aberturas de aire de impulsión.

- Causas:**
- Aperturas de aire de impulsión demasiado pequeñas.
  - Aperturas de aire de extracción.

- Soluciones:**
- Planificación correcta de las aberturas de impulsión y extracción de aire.
  - Evitar el riesgo de heladas.





## 2 Durante la instalación

De vez en cuando se producen errores de instalación y montaje, pues en los proyectos de mayor envergadura suelen colaborar varias empresas por primera vez. Hay que respetar muchas interfaces y muchas instrucciones de instalación de fabricantes específicos. La presión del tiempo también puede tener un efecto decisivo. Los distintos gremios instalan sus tuberías sin coordinarse entre sí y quien llega primero a la obra instala primero sin tener en cuenta las instalaciones siguientes.

En estas situaciones se producen fallos problemáticos, por ejemplo, un volumétrico instalado en la dirección de flujo incorrecta o conexiones incorrectas en un intercambiador de calor o en las válvulas de seguridad, que saltan a la vista durante la puesta en servicio y deben subsanarse.

Por desgracia, a menudo los sistemas y las tuberías presentan fallas en la instalación. Los siguientes problemas no se detectan o solo se detectan parcialmente durante la puesta en marcha y la aceptación del sistema, lo que provoca un deterioro permanente de las condiciones de funcionamiento.

Algunas señales de ello son:

- Costes de inversión demasiado elevados (demasiados codos, ni tendido directo de tuberías).
- Costes de funcionamiento correspondientes (pérdidas de presión elevadas, pérdidas de calor elevadas).
- Funcionamiento y opciones de mantenimiento deficientes.



**Fig. 15** Introducción de aguas residuales a temperaturas superiores a 100 °C en el depósito de purga inferior por debajo de la línea de agua (en el conector para <100 °C)

### 2.1 Trazado de tuberías

Por diversas razones, las tuberías deben pasar por cambios de altura en muchos puntos. En estas situaciones, deben seguirse dos sencillas reglas básicas.

- Desaguar las tuberías en el punto más bajo
- Purgar las tuberías en el punto más alto

#### 2.1.1 Tuberías de vapor

Durante la puesta en marcha, es importante tener en cuenta que en las tuberías de vapor se acumulan grandes cantidades de condensado, no solamente durante la operación, sino también durante el funcionamiento continuo debido a las pérdidas de calor en las tuberías. Este condensado debe eliminarse de la tubería de vapor, porque de lo contrario, podrían formarse gotas de agua y ser arrastradas a gran velocidad por el flujo de vapor, lo que provocaría golpes de ariete que dañarían las tuberías, las válvulas o los soportes. Al tender la tubería de vapor deben observarse los siguientes puntos.

### Proporcionar puntos de desagüe

- Inmediatamente, en la parte superior de todas las válvulas de control y reductores de presión, a fin de evitar la acumulación de condensado cuando estos accesorios estén cerrados.
- Corriente arriba de las válvulas manuales o motorizadas que permanecen cerradas durante periodos prolongados.
- En los puntos más bajos de las secciones verticales de las tuberías y antes de los cambios de altura.
- Al final de la tubería.

### Observe las pendientes de las tuberías

El condensado que se acumula en un tramo de tubería debe poder fluir hasta el desagüe de condensado más próximo. En la dirección del flujo, esto se ve favorecido por la velocidad de flujo predominante en la tubería. Por lo tanto, es deseable que exista un gradiente en la dirección del flujo. Debería haber un punto de desagüe cada 25 - 50 m.

La pendiente no debe ser inferior al 1 - 3%, y lo ideal es que aumente ligeramente cuanto mayor sea la distancia desde el último punto de drenaje, ya que entonces también debe arrastrarse una mayor cantidad de condensado.

Los tramos cortos de tubería también pueden deshidratarse en dirección contraria al flujo, aumentando la pendiente en consecuencia hasta >5%.

Lo importante es garantizar que el condensado pueda fluir sin obstáculos y que no se formen bolsas de agua en ningún punto de la tubería.

### Tuberías recolectoras de condensados

Debido al gradiente de alta presión, solo se requiere un pequeño diámetro de conexión (DN 15 - 25) en el extremo de los conductos de recogida de condensados para la deshidratación de las tuberías. Sin embargo, si el diámetro del extremo de la conexión que se conecta directo a la tubería de vapor es muy pequeño, parte del condensado que fluye velozmente por la tubería se expulsa más allá del punto de desagüe, lo que hace que el purgador de condensados sea más o menos ineficaz. Por esto, la tubería de recolección de condensado siempre debe tener un tamaño suficiente para garantizar un desagüe eficaz. También debe garantizarse que en la tubería de recolección de condensado haya suficiente volumen disponible para los depósitos de suciedad para minimizar los fallos de los desagües de condensado.

La tubería recolectora también actúa como volumen de almacenamiento, especialmente al poner en marcha el sistema cuando se producen grandes tasas de acumulación de condensado debido al calentamiento de las tuberías. La conexión del desagüe de condensado debe bifurcarse aproximadamente 50 - 100 mm por encima de la base de la tubería recolectora para evitar que la suciedad y los depósitos entren directamente en el desagüe.

→ Tecnología – Capítulo 5.2: Tuberías de vapor, página 219

- Problema:** • El golpe de ariete causa daños en tuberías, válvulas y soportes.
- Causa:** • Debido a una deshidratación ineficaz, en las tuberías se forman gotas de agua que se desplazan a gran velocidad
- Solución:** • Seleccione el sistema de purga de condensados correcto e instálelo en un lugar adecuado



### 2.1.2 Unión de tuberías

La unión de tuberías con la misma función es un procedimiento habitual en la construcción de instalaciones. Por ejemplo, las tuberías de vapor de varios sistemas de calderas se combinan en una tubería de suministro con el diámetro nominal adecuado. Sin embargo, esto solo es posible si no se deteriora la función. Esto puede acarrear graves problemas, sobre todo en el caso de las tuberías de descarga de las válvulas de seguridad.

Las tuberías de descarga de las válvulas de seguridad deben tenderse siempre por separado al aire libre y, siempre que sea posible, por el camino más directo. Cuando se fusionan tuberías, esto afecta al funcionamiento de la válvula de seguridad y se reducen las cantidades de purga necesarias. Como las fuerzas de reacción que se producen cuando la válvula responde son elevadas, la tubería podría incluso romperse.

**Problemas:**

- Es posible un aumento inadmisibles de la presión en la caldera.

- Desaparición de la función de seguridad.

- Infracción de la normativa.

- Posible rotura de las tuberías.

**Causas:**

- Resistencia al flujo excesivamente alta en la tubería.

- Efecto retroactivo en la válvula de seguridad (flameo).

**Solución:**

- Enrutar siempre por separado las tuberías de soplado de las distintas válvulas de seguridad.



**Fig. 16** Fusión no permitida de válvula de seguridad y tubería de vapor de expansión.

### 2.1.3 Reducción del diámetro interior y tuberías excesivamente largas

#### Conductos de ventilación

Si las tuberías de ventilación de aire, como las utilizadas en el vaso de expansión de descarga inferior, no se conducen hacia adelante con el mismo diámetro nominal que el especificado, existe el riesgo de que se produzca una acumulación de presión no permitida. Esto se produce como consecuencia de un flujo de aire restringido y puede conducir a la destrucción del recipiente, que está diseñado para un funcionamiento sin presión ( $\leq 0.5$  bar).



**Fig. 17** Si se reduce el diámetro interno de las tuberías de vapor de expansión, puede producirse un aumento de la presión y la rotura del recipiente

#### Tubo de vapor de escape

Si se reduce el diámetro interior del tubo de salida de vapores del desaireador, la eliminación de oxígeno y dióxido de carbono puede verse afectada hasta tal punto que ya no pueda producirse una desaireación completa. Esto provocaría corrosión en la caldera y en las tuberías. Si además no se comprueba periódicamente la calidad del agua según lo prescrito, puede ser necesario sustituir grandes componentes del sistema de la caldera.

**Problemas:**

- Aumento inadmisibles de la presión.
- Función restringida.

**Causa:**

- Reducción del diámetro nominal de la tubería y, por tanto, mayor resistencia al flujo en la tubería.

**Solución:**

- Dirigir las tuberías con el diámetro nominal prescrito y el material prescrito lo más directamente posible hacia el exterior.



**Fig. 18** Estrechamiento (1) de la tubería de vapor de expansión en el depósito de descarga inferior. Unión (2) de la tubería de vapor de expansión, la tubería de descarga de la válvula de seguridad y la tubería de vapor de escape. Tubería de vapor de escape no fabricada en acero inoxidable (3).

#### 2.1.4 Salida sin peligro

Todas las tuberías, especialmente las tuberías de descarga de las válvulas de seguridad que desvían el vapor al aire libre, deben tenderse de forma que no supongan ningún peligro adicional para las personas, los sistemas o el edificio. El vapor fluye normalmente a una velocidad y temperatura muy elevadas hacia el aire libre. Por lo tanto, la salida no debe cruzar ninguna ruta ni debe dirigirse a partes del sistema sensibles a la temperatura.

- Problemas:**
- Destrucción de las cúpulas de las claraboyas del edificio debido al vapor caliente procedente del tubo de purga de la válvula de seguridad (imagen de la izquierda).
  - Peligro para el personal de operación y daños en los componentes electrónicos (imagen de la derecha)

- Causas:**
- Peligro potencial no identificado.
  - Salida del tubo de descarga apuntando directamente a la cúpula de la claraboya o al interior de la sala de calderas.

- Solución:**
- Terminar la tubería de forma segura al aire libre



**Fig. 19** Válvula de seguridad tubo de purga

#### 2.1.5 Válvulas mal instaladas

A menudo, las válvulas se instalan incorrectamente en el sentido del caudal. Como la función se ve afectada, esto suele descubrirse de inmediato. No siempre es posible detectarlo inmediatamente, sobre todo en el caso de las válvulas antirretorno. En este caso, la válvula antirretorno estaba mal instalada en la derivación del módulo de control del agua de alimentación, lo que significaba que la cantidad mínima necesaria para la bomba ya no podía fluir de vuelta al depósito de agua de alimentación. Esto provocó inicialmente cavitación en la primera bomba de agua de alimentación. La causa no se investigó más a fondo, ya que la bomba de agua de alimentación se sustituyó en garantía. Al no subsanarse el fallo, se produjo cavitación en la segunda y tercera bomba. Únicamente entonces se investigó la causa real y posteriormente se rectificó.

- Problema:**
- Tres bombas de alimentación defectuosas por cavitación.
- Causa:**
- No hay transporte de cantidad mínima al haberse instalado la válvula antirretorno en la tubería de derivación en el sentido de flujo incorrecto
- Soluciones:**
- Utilizar módulos preinstalados.
  - Comprobar todas las condiciones de funcionamiento durante la puesta en marcha.
  - Comprobar las causas de los daños

En la planeación **Durante la instalación** Durante el funcionamiento

## 2.2 Soporte

De vez en cuando se detectan defectos graves en los soportes de tuberías, como por ejemplo:

- Dimensionamiento insuficiente de los soportes.
- Distancias entre soportes demasiado grandes.
- No se ha tenido en cuenta la dilatación térmica durante el funcionamiento.
- Pared o techo demasiado débil para absorber las fuerzas.

Las fuerzas liberadas cuando la válvula de seguridad responde no pueden ser absorbidas ni por la válvula de seguridad ni por el techo metálico. En este caso, las tuberías de descarga se apuntalan entre sí, lo que no ayuda a mejorar la situación. Afortunadamente, el fallo se descubrió antes de la prueba inicial, ya que de lo contrario habría habido riesgo de rotura de las tuberías.

**Problema:** • Posibles daños graves en el edificio y peligro para el personal operario.

**Causa:** • No hay soporte para tuberías

**Solución:** • Prever soportes adecuados para todas las fuerzas que se produzcan.



**Fig. 20** *Faltan los soportes de los tubos de descarga de las válvulas de seguridad*



**Fig. 21** *No es posible la dilatación térmica de los tubos de descarga de la válvula de seguridad*



MEC-Schrank  
übergeordnetes  
Leitsystem



Inspire-ico  
T. Fischborn  
BOSCH





### 3 Durante el funcionamiento

Siempre que los cuidados y el mantenimiento se lleven a cabo correctamente, la caldera tendrá una vida útil de más de 50 años. En la práctica, sin embargo, el sistema de la caldera se ve afectado por muchos factores diferentes que pueden reducir significativamente la vida útil de la caldera. En este capítulo, pretendemos ante todo sensibilizar al operador sobre este tema basándonos en ejemplos concretos. Naturalmente, no se pueden describir todas las posibles causas de los defectos. No obstante, como norma general se aplica lo siguiente: siempre habrá causas específicas para los defectos que se produzcan. Además de reparar correctamente el defecto y restablecer la disponibilidad operativa del sistema, las causas deben encontrarse y eliminarse para que no vuelvan a producirse durante el funcionamiento posterior.

→ Información técnica TI038: defectos de las calderas – análisis de fallas y análisis de causas

La vida útil de los componentes electrónicos y eléctricos suele ser bastante inferior a la del envoltorio de la caldera. Deben sustituirse antes de que finalice su vida útil, especialmente si se trata de componentes relacionados con la seguridad. Una de las funciones del asistente digital de eficiencia MEC Optimize es ayudar al operario a realizar esta tarea y también el mantenimiento preventivo en general.



→ Productos – Capítulo 6.4: MEC Optimize, página 371

A menudo, los defectos pueden detectarse con antelación y sus causas eliminarse. Sin embargo, el requisito previo para ello es un intercambio abierto de conocimientos entre operarios, ingenieros de planta y el servicio de atención al cliente.

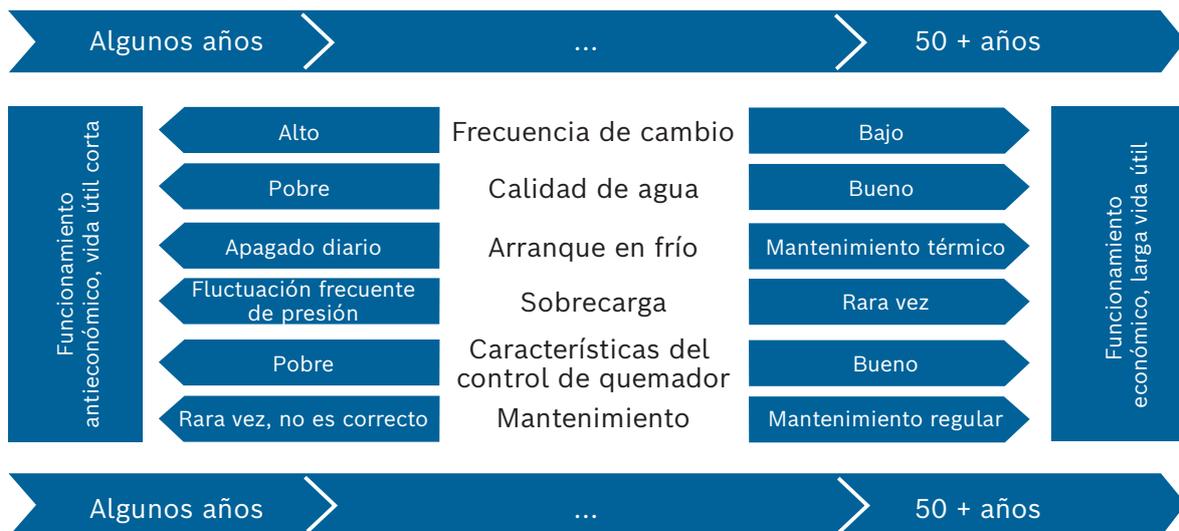


Fig. 22 Influencia del modo de funcionamiento de la caldera en su vida útil

## 3.1 Control de la calidad del agua

### 3.1.1 Cal y dureza del agua

Además de otros ingredientes nocivos, el agua dulce también contiene tierras alcalinas, a menudo denominadas “dureza”. También estamos familiarizados con esto por los depósitos en el hervidor de agua o la cafetera. Una capa de cal de solo 1 mm puede reducir considerablemente la transferencia de calor por el lado del agua. Esto puede provocar daños importantes, sobre todo en los componentes sometidos a grandes esfuerzos térmicos, como el tubo de llama o la placa tubular de la cámara de inversión interna .

En este caso, el sistema de ablandamiento existente se ha sobrecargado sistemáticamente por los consumidores adicionales de la planta. No había ningún control de la dureza por lo que no se detectó la sobrecarga. Como consecuencia, la dureza residual también fue a parar a la caldera, en la que se habían formado capas en el lado del agua. Estas capas redujeron la transferencia de calor, lo que a su vez provocó un sobrecalentamiento local y grietas en la placa tubular entre los orificios.

#### ¿Sabías qué...?

Con una dureza del agua de 10° dH (dureza media), se transportan hasta 70 g de cal por m<sup>3</sup> de agua. Si se extrapola este valor para una caldera con una producción de vapor de 10 t/h que funcione de forma continua durante 10 días, el resultado son casi 500 kg de cal en la caldera.



- Problema:** • Grietas en las costillas de la placa tubular del tubo de humos por sobrecalentamiento en esta zona
- Causa:** • Invasión de dureza y depósitos en el espacio del agua.
- Soluciones:** • Mantenimiento de un libro de registro de la caldera con anotaciones periódicas sobre la calidad del agua y comprobación del cumplimiento de la directriz de calidad del agua.
- Utilización del control de la dureza residual

→ Tecnología – Capítulo 4.5: Control de calidad de agua, página 203

→ Información técnica TI012: requisitos para el funcionamiento de sistemas de calderas de alta presión sin supervisión constante



**Fig. 23** Depósitos del lado del agua en el panel tubular y la placa tubular de la caldera



**Fig. 24** Lado de los gases de combustión con grietas en las nervaduras de la placa tubular de la cámara de inversión

### 3.1.2 Entrada de materias extrañas en el condensado

Desde el punto de vista de la energía y el rendimiento, tiene sentido devolver al circuito de agua/vapor el condensado que se acumula durante el funcionamiento. Sin embargo, puede contaminarse durante el proceso de producción. En este ejemplo, el condensado se ha contaminado con grasa debido a una fuga en el intercambiador de calor de producción. La grasa se depositó en la caldera, en las superficies de calefacción y también en el indicador de agua baja, lo que provocó el sobrecalentamiento de las superficies de calefacción.

**Problemas:**

- Daños irreparables en el envoltente de la caldera por sobrecalentamiento.

- Abolladuras en el tubo de llama y en los tubos de humos.

**Causa:**

- Condensado no vigilado para evitar la entrada de sustancias extrañas.

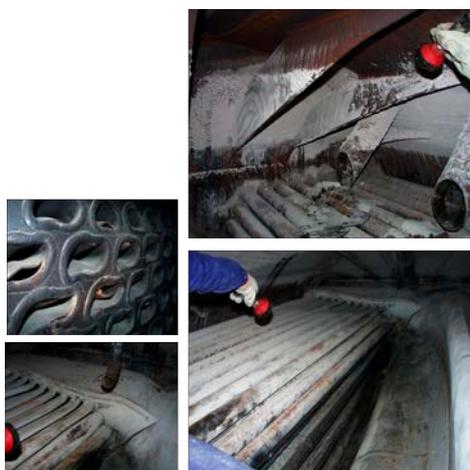
**Soluciones:**

- Comprobar si es posible que el condensado se contamine.

- Establecer un control del condensado.

→ Tecnología – Capítulo 4.5: Control de calidad de agua, página 203

→ Información técnica TI012: requisitos para el funcionamiento de sistemas de calderas de alta presión sin supervisión constante



**Fig. 25** Capa de grasa y suciedad en la caldera que provoca la deformación del tubo de llama y de la cámara de inversión interna debido al sobrecalentamiento.

### 3.1.3 Dosificación de productos químicos para el tratamiento del agua

Por lo general, la dosificación debe cumplir dos tareas. Por un lado, se deben aglutinar los posibles componentes de oxígeno residual o dureza residual y, por otro, se debe mantener el valor de pH en el agua de alimentación y en la caldera dentro de los límites permitidos. Con frecuencia, las bombas dosificadoras se conectan en paralelo con las bombas de alimentación de la caldera o con el sistema de control del agua de reposición, lo que significa que la dosificación se basa efectivamente en la cantidad. La potencia de dosificación se adapta a los valores medidos en el agua de la caldera para garantizar que la concentración de agente dosificador se mantiene dentro del intervalo de valores guía. Se recomienda un ajuste entre el 30 y el 100% de la potencia de la bomba dosificadora. Si no es suficiente, debe modificarse la concentración de dosificador.

Tanto la dosificación insuficiente como la excesiva pueden interrumpir el funcionamiento de la caldera o provocar daños graves.

Sin embargo, los problemas que se repiten con frecuencia en la calidad del agua no suelen ser atribuibles a la dosificación en sí, sino al tratamiento y control previos del agua. En estos casos, las fluctuaciones normales ya no pueden compensarse con la dosificación.

- Problema:** • Cumplimiento de los valores límite del agua.
- Causas:** • Ajustes de dosificación.  
• Problemas con el tratamiento del agua.
- Soluciones:** • Análisis periódicos del agua.  
• Comprobación de los ajustes de dosificación.  
• Comprobación del tratamiento del agua.  
• Comprobación del control de los condensados.  
• Comprobación automática del agua.



### 3.2 Cavitación en las bombas

La cavitación se refiere a la formación y descomposición de burbujas de vapor en los fluidos. En este caso, la evaporación está provocada por una reducción de la presión estática, por ejemplo debido a la aceleración del medio en la entrada del impulsor en la bomba. Las burbujas de vapor se rompen en la trayectoria del flujo, ya que el aumento de la presión externa provoca la implosión de las burbujas (martillo de vapor microscópico). Esto puede causar daños importantes e incluso la destrucción completa del funcionamiento interno de la bomba.

Hay muchas causas posibles de cavitación en las bombas. Altura de instalación demasiado baja, presiones fluctuantes en el lado de aspiración o temperaturas fluctuantes del medio. A menudo, la bomba de alimentación no se ha estrangulado correctamente, como ocurre también en este caso concreto. Al inicio del funcionamiento, la contrapresión existente en la caldera es nula o muy escasa. Por lo tanto, la bomba suministra una cantidad de agua considerablemente mayor. Esto hace que la aceleración en la entrada del impulsor de la bomba aumente considerablemente y se produzca una caída significativa de la presión estática. Si el agua de alimentación ya está caliente, puede producirse cavitación en este punto. La bomba sufrió daños irreparables al cabo de pocos minutos.

**Todo el mundo puede oír la cavitación:**

Al principio de la cavitación el sonido es como el de la lluvia sobre un tejado metálico y la cavitación completa suena como el granizo sobre un tejado metálico.



- Problema:** • Cavitación en las bombas.
- Causa:** • Bombas no estranguladas.
- Soluciones:** • Acelerar las bombas según lo especificado en las instrucciones de funcionamiento.  
• Observar las condiciones de instalación.



**Fig. 26** Daños en la bomba por cavitación

- |   |   |
|---|---|
| <p><b>1</b> Abolladuras en el impulsor de la bomba</p> <p><b>2</b> Expulsión de los álabes del impulsor de la bomba</p> | <p><b>3</b> Daños/destrucción de otros componentes de la bomba debido a la explosión de los álabes del impulsor de la bomba</p> |
|---|---|

### 3.3 Ajuste de la combustión

Además del tratamiento del agua, los ajustes del sistema de combustión son decisivos para garantizar un funcionamiento económico y una larga vida útil de la caldera. Por consiguiente, estos ajustes deben comprobarse periódicamente como parte del mantenimiento rutinario. No solo se debe verificar que la caldera funciona correctamente, sino también que el funcionamiento real se corresponde con el previsto.

#### 3.3.1 Ciclos del quemador

El problema de los frecuentes ciclos del quemador se encuentra una y otra vez. Esto puede tener muchas causas diferentes, como un diseño sobredimensionado, reducción de la demanda, cambios en las condiciones de funcionamiento y también ajustes de control insuficientes.

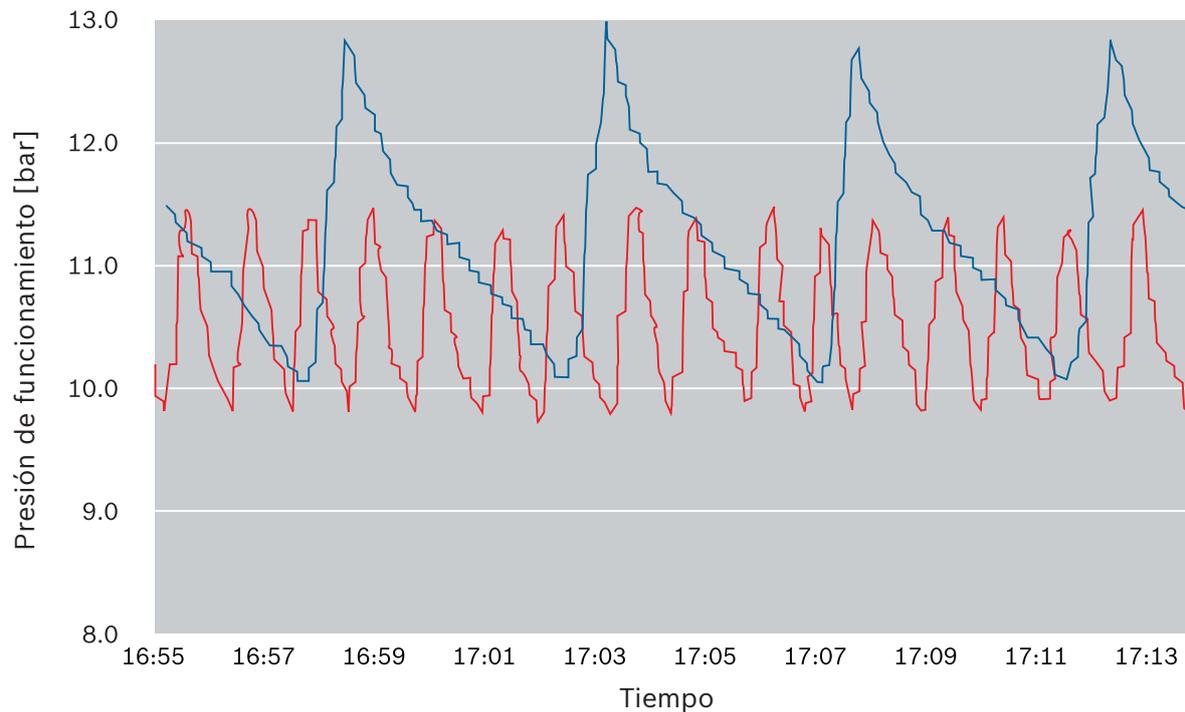
La regla que se aplica generalmente a todos los sistemas es que debe evitarse el ciclado del quemador siempre que sea posible. Durante la ventilación previa, el aire frío atraviesa la caldera. Esto provoca un mayor estrés térmico y, por tanto, una menor vida útil y mayores pérdidas de calor. A menudo, los ciclos pueden reducirse significativamente, simplemente optimizando los ajustes del control de carga.

Si el quemador es demasiado grande para la producción de vapor requerida, habrá que sustituirlo.

→ Eficiencia – Capítulo 2.2.3: Ajuste de la potencia, página 272

→ Eficiencia – Capítulo 4.4.1: Mantenimiento, página 299

→ Reporte técnico FB027: tensiones evitable sne las calderas pirotubulares de vapor



**Fig. 27** Reducción de los ciclos del quemador mediante un ajuste optimizado

- Ciclo del quemador en el rango de minutos
- Ciclado del quemador tras el reajuste del rango de regulación

**Problema:** • Ciclos extremadamente frecuentes del quemador que provocan tensiones térmicas y, por tanto, un mayor desgaste y pérdidas de calor durante la ventilación previa.

**Causas:** • Ajustes del control de carga.  
• Rango de control del quemador demasiado pequeño.

**Soluciones:** • Ajustar un rango de control de presión mayor.  
• Instalación de controles de carga ligeros.  
• Utilización de quemadores con rango de regulación elevado o adecuación de la potencia del quemador a las necesidades reales.

### 3.3.2 Sobrecarga de la caldera

El diseño de las calderas piro-tubulares las hace relativamente insensibles a las fluctuaciones de carga de los consumidores. Un aumento a corto plazo de la alimentación de vapor de hasta un 20% por encima de la capacidad de diseño que puede producirse debido a una caída de presión en la caldera no suele plantear problemas. Si la demanda de carga es mayor, esto puede provocar problemas importantes en el sistema y la caldera y fuertes fluctuaciones del nivel de agua en la caldera. El agua arrastrada desde la caldera al sistema puede dar lugar a un contenido de humedad del vapor extremadamente alto que provoque el golpe de ariete.

**Problema:** • Agua arrastrada en la tubería de vapor y, por tanto, contenido de humedad del vapor muy elevado y golpe de ariete en las tuberías.

**Causa:** • Sobrecarga de la caldera.

**Solución:** • Instalación de restricción de salida con válvula motorizada en la alimentación de vapor.

### 3.4 Contaminación y residuos en tuberías

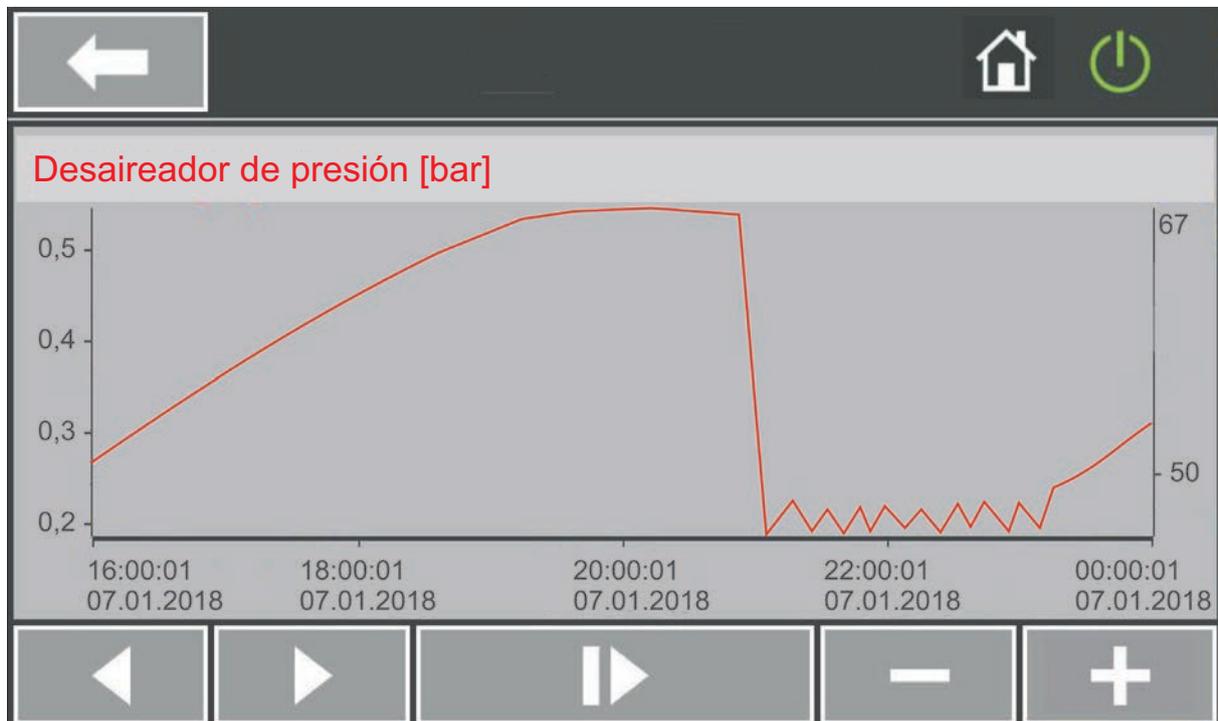
A menudo, la contaminación y los residuos en tuberías, contenedores y válvulas provocan problemas de funcionamiento y daños. Esto puede ocurrir en la fase de puesta en marcha, por ejemplo, debido a un lavado insuficiente de las tuberías o puede surgir más tarde durante el funcionamiento debido a una contaminación continua. Aunque, en este caso, la contaminación gradual sigue detectándose, a menudo se pasa por alto el impacto negativo que puede tener en los costes.

#### 3.4.1 Drenaje de condensados defectuoso

En todos los sistemas de calderas de vapor se instalan drenajes de condensados. Dependiendo del tamaño total de la red de vapor, pueden instalarse más de 100 drenajes. Si solamente uno de ellos tiene fugas, el vapor puede rebosar directamente en el sistema de condensado sin utilizar su entalpía. Esto conlleva pérdidas económicas. Además, en este escenario, los componentes aguas abajo también pueden verse afectados negativamente como consecuencia.

Un drenaje de condensado defectuoso en el sistema de drenaje de la tubería de vapor provocó un calentamiento continuo del depósito de agua de alimentación debido al desbordamiento de vapor en el sistema de condensado. Esto provocó un aumento de la presión en el recipiente de agua de alimentación hasta que la válvula de seguridad empezó a responder cíclicamente y entonces ella misma se volvió defectuosa.

- Problema:** • Válvula de seguridad defectuosa y funcionamiento poco rentable.  
**Causa:** • Drenaje de condensado defectuoso.  
**Solución:** • Inspección periódica del desagüe de condensados.



**Fig. 28** Aumento continuo de la presión del depósito de agua de alimentación debido a un drenaje de condensado defectuoso



En la planeación Durante la instalación **Durante el funcionamiento**

**Ejemplo de cálculo:**

$$\text{Pérdidas de vapor [D]} = A \cdot K$$

A	Número de drenajes de condensado defectuosos	10
B	Horas de funcionamiento anuales	8,000 h/a
D	Pérdidas de vapor	
E	Coste de generación de una tonelada de vapor	30 Euro/t
K	Pérdida por drenaje de condensado	2 kg/h

$$\text{Coste resultante [€/a]} = \frac{B \cdot D \cdot E}{1,000}$$

**F16.** Cálculo de los costes derivados de desagües de condensados defectuosos

Número de drenajes de condensado defectuosos	<input type="text" value="10"/>		
Pérdida de drenaje de condensado [kg/h]	<input type="text" value="2"/>	Pérdidas de vapor [kg/h]	<input type="text" value="20"/>
Horas de funcionamiento (h/a)	<input type="text" value="8 000"/>		
Costes de la generación de vapor (€/1,000 kg)	<input type="text" value="30"/>	Costes resultantes (€/a)	<input type="text" value="4,800"/>

**B7.** Ejemplo de cálculo para determinar los costes derivados de drenajes de condensado defectuosos

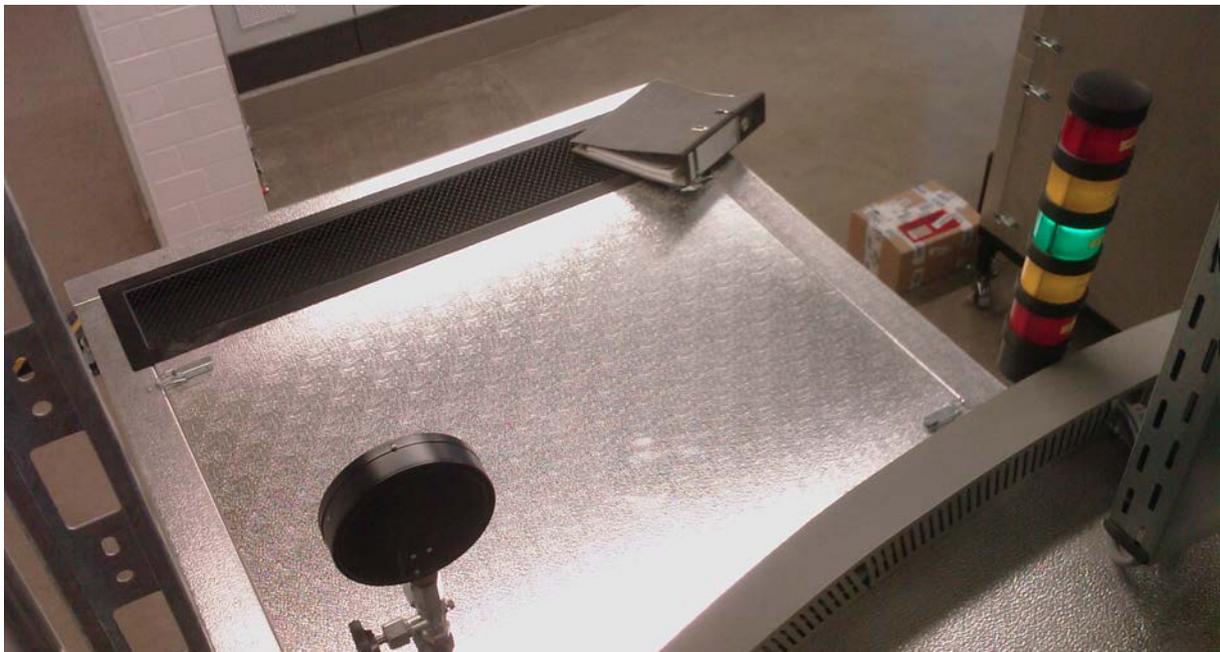
**3.4.2 Contaminación en el economizador**

Pueden producirse depósitos en el recorrido de los gases de combustión debido al hollín producido durante la combustión y también a la calidad inferior del combustible. En este caso, es el extremo frío, es decir, el economizador, el más afectado. Las nervaduras del economizador se obstruyen con depósitos. Por un lado, los gases de combustión ya no se pueden refrigerar con la misma eficacia y el grado de utilización disminuye y, por otro, la contrapresión de los gases de combustión también aumenta, lo que provoca una escasez de aire durante la combustión y, en última instancia, el riesgo de ignición difícil.

- Problema:** • Contaminación en el economizador.
- Causa:** • Mal ajuste de la combustión.
- Soluciones:** • Mantenimiento periódico y comprobación de los ajustes de combustión.  
 • Limpieza del recorrido de los gases de combustión.  
 • Diseño correcto.



**Fig. 29** Depósitos en las nervaduras del economizador



**Fig. 30** Peligro de falta de aire por obstrucción de las aberturas de suministro de aire

### 3.4.3 Contaminación del filtro de gas

Durante el montaje, siempre se produce suciedad en las tuberías. Sin embargo, esto puede reducirse al mínimo garantizando una calidad adecuada durante la fabricación. Los restos se eliminan lavando las tuberías. En este caso, la suciedad en la tubería de gas era tan excesiva que incluso en la fase de puesta en marcha provocó una importante caída de presión en el filtro de gas y problemas con la puesta en marcha del sistema de combustión.

**Problema:** • Suciedad en el filtro de gas durante la puesta en marcha.

**Causa:** • Mala calidad de soldadura de la línea de gas.  
• No se ha purgado la tubería de gas antes de la puesta en servicio.

**Solución:** • Lavado de la tubería antes de la puesta en servicio.



**Fig. 31** Cordones de soldadura y óxido en el filtro de gas

### 3.4.4 Calcificación en el módulo de descarga, expansión y refrigeración (BEM)

Todas las aguas residuales se recogen y se enfrían hasta el nivel de temperatura permitido en el BEM antes de ser introducidas en el sistema público de alcantarillado. Si el nivel de temperatura para la refrigeración se fija demasiado bajo, la refrigeración se realiza continuamente utilizando agua fresca, lo que provoca pérdidas económicas. En este caso, la dureza del agua dulce utilizada para la refrigeración también era extremadamente alta, del orden de 20° dH. Esto provocó la formación de grandes incrustaciones calcáreas en el BEM, que acabaron obstruyendo por completo el rebosadero.

- Daños:**
- Módulo de descarga, expansión y refrigeración totalmente calcificado.
  - Sustitución necesaria.
- Causa:**
- Regulación de temperatura mal ajustada y agua de refrigeración excesivamente dura.
- Solución:**
- Cumplir con una dureza máxima de 10° dH para la refrigeración (en caso necesario se puede emplear un poco de agua ablandada).



**Fig. 32** Desbordamiento en BEM eliminado; calcificación completa en BEM.

### 3.5 Omisión de los equipos de seguridad

Los dispositivos de seguridad se prescriben por una buena razón. Su finalidad es evitar fallos catastróficos con posibles consecuencias desastrosas para las personas, la máquina y el medio ambiente en caso de averías durante el funcionamiento rutinario. En la medida de lo posible, estos dispositivos de seguridad ya han sido probados en fábrica. Sin embargo, el cableado final, el montaje y la comprobación del funcionamiento únicamente se llevan a cabo durante la puesta en servicio.

A menudo, la puesta en servicio se realiza bajo una gran presión de tiempo. Sin embargo, es imperativo que esto no conduzca a la omisión de equipos de seguridad básicos o, como se muestra en este ejemplo, a la omisión de estos equipos.

- Problemas:**
- Daños irreparables en el envolvente de la caldera por sobrecalentamiento.
  - Abolladuras en el tubo de llama y en los tubos de humo.
- Causa:**
- Indicador de bajo nivel de agua anulado.
- Soluciones:**
- Puesta en servicio de la caldera exclusivamente por especialistas cualificados.
  - No desactivar nunca los dispositivos de seguridad ni dejarlos sin efecto.



**Fig. 33** Deformación por sobrecalentamiento debido a la escasez de agua



### 3.6 Trabajos peligrosos

La instalación de todos los sistemas, válvulas y dispositivos de medición necesarios para la gestión del sistema debería ser lo más sencilla posible. No obstante, a menudo es inevitable llegar a un compromiso entre la garantía de un funcionamiento y mantenimiento óptimos y las limitaciones de espacio. Normalmente, todo lo que se necesita para identificar los peligros potenciales es un poco de sentido común. Sin embargo, la evaluación de riesgos, que es un requisito para el funcionamiento, también proporciona notas sobre el funcionamiento seguro. El operador puede solicitar al ingeniero de la planta que lo haga, especialmente antes de la aceptación del sistema, con el fin de garantizar el buen funcionamiento del mismo.

**Problema:**

- Toma de muestras de agua en lugar peligroso sin dispositivo de refrigeración y encima del cuadro eléctrico

**Causa:**

- Conocimiento insuficiente del funcionamiento de un sistema de caldera de vapor.

**Soluciones:**

- Dirigir la línea de toma de muestras hacia abajo.
- Instalación de un refrigerador de muestras de agua.



**Fig. 34** Muestreo de agua sin refrigerador adecuado y con recipiente inadecuado

# Tecnología

<b>1 Vapor</b>	<b>103</b>
1.1 Tipos de vapor	103
1.2 Presión y temperatura	109
1.3 Entalpía	110
1.4 Ventajas y desventajas de los sistemas de vapor	112
<b>2 Caldera</b>	<b>115</b>
2.1 Tipos	116
2.2 Equipamiento y control	121
<b>3 Componentes</b>	<b>133</b>
3.1 Combustión y calefacción	133
3.2 Sistema de mantenimiento del calor	145
3.3 Economizador	148
3.4 Intercambiador de calor de condensación	152
3.5 Precalentador de aire	154
3.6 Enfriador de agua de alimentación	155
3.7 Precalentador de agua de alimentación	156
3.8 Sobrecalentador	157
3.9 Bombas de alimentación de la caldera	160
3.10 Control de la caldera	167
3.11 Control de caldera BCO	169
3.12 Control compacto de calderas de vapor CSC	172
<b>4 Cuarto de calderas</b>	<b>175</b>
4.1 Tratamiento de agua	177
4.2 Evacuación de agua	191
4.3 Tratamiento, distribución y almacenamiento de vapor	192
4.4 Gestión de condensados	199
4.5 Control de calidad de agua	203
4.6 Sistema de control SCO	206



<b>5</b>	<b>Periféricos</b>	<b>211</b>
5.1	Tuberías	211
5.2	Tuberías de vapor	219
5.3	Líneas de agua	220
5.4	Tuberías de condensado	222
5.5	Tubo de purga de la válvula de seguridad	224
5.6	Sistema de gases de combustión	226
<b>6</b>	<b>Producción</b>	<b>233</b>
6.1	Construcción óptima de calderas	233
6.2	Soldadura correcta de los tubos de llama y de humo	234
6.3	Soldadura de precisión	235
6.4	Uso de robots de soldadura	236
6.5	Menos cordones de soldadura, mayor calidad	237









# 1 Vapor

El calentamiento de productos es indispensable para muchos procesos y aplicaciones industriales. Para ello, suele ser necesario un nivel de temperatura de entre 100°C y 250°C. El vapor saturado o ligeramente sobrecalentado es un medio de transferencia de calor óptimo que ofrece muchas ventajas:

- Alta densidad energética
- Excelente transferencia de calor durante la condensación
- Adecuado para el calentamiento directo e indirecto
- Buena controlabilidad
- El agua/vapor no es tóxica y está disponible en todas partes
- No se necesitan bombas para transportar el vapor

## 1.1 Tipos de vapor

Se distinguen los siguientes tipos de vapor:

Tipo de vapor	Característica especial	Aplicación	Contenido de humedad residual
<b>Vapor húmedo</b>	Puede causar erosión en las tuberías de vapor	–	> 3 %
<b>Vapor saturado / alta presión</b>	El tipo de vapor más utilizado	Calor de proceso < ~230 °C	0 ... 3 %
<b>Vapor sobresaturado</b>	Pérdidas de calor reducidas en las tuberías	Turbinas de vapor	0 % (temperatura del vapor > temperatura de saturación)
<b>Vapor de baja presión</b>	No está sujeto a la Directiva de Equipos a Presión: El resultado son condiciones de instalación y funcionamiento más favorables	Calor de proceso ≤ 110 °C, lavanderías	0 ... 3 %
<b>Vapor culinario</b>	Uso de dosificadores volátiles sin vapor	Industria de alimentos	0 ... 3 %
<b>Vapor puro</b>	Generación mediante generador de vapor puro de acero inoxidable apoyado de vapor saturado	Industria farmacéutica, hospitales	0 ... 3 %
<b>Vapor de expansión</b>	Producido al reducir la presión por debajo del punto de ebullición de agua caliente	Acumulador de vapor (deseado) Tras la purga de fondo/superficie (obligatoria)	0 ... 3 % (en el acumulador de vapor) 70 ... 99.9 % (en la tubería)

**Tab. 8** Diferencias entre los distintos tipos de vapor

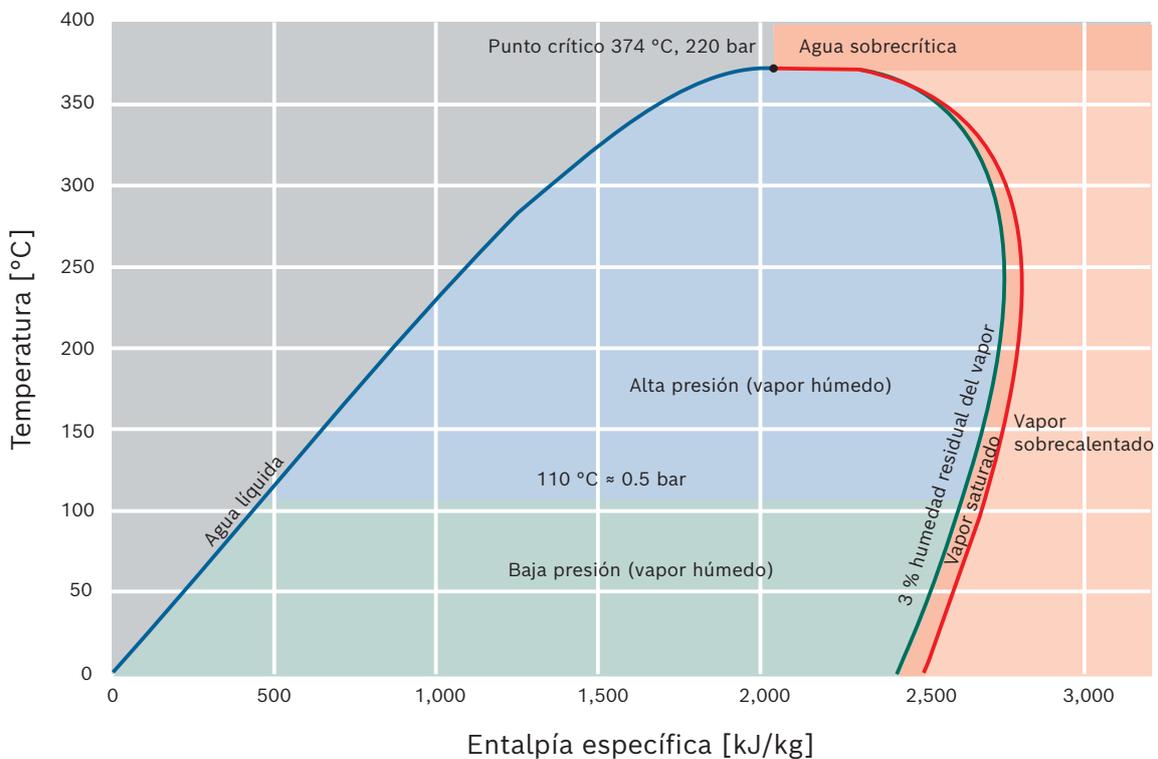
### 1.1.1 Vapor saturado o vapor saturado seco

El vapor que se encuentra en el límite entre el vapor húmedo y el vapor sobrecalentado se denomina vapor saturado, también llamado vapor saturado seco, o también a veces "vapor seco" para distinguirlo del vapor húmedo. Los valores indicados en las tablas de vapor se refieren a este estado específico.

→ Herramientas – Capítulo 4.2: Tabla de vapor de agua, página 398

Las características físicas del vapor saturado se utilizan casi siempre al diseñar intercambiadores de calor en la práctica, o al calcular la demanda de vapor de los procesos térmicos.

Sin embargo, en realidad el vapor saturado sólo se produce precisamente en el límite de fase. Aunque se enfríe muy poco a la misma presión, se convierte en vapor húmedo o, si se calienta muy poco, en vapor sobrecalentado. No obstante, si los estados del vapor están próximos al límite de fase, las características físicas del vapor saturado pueden utilizarse para realizar cálculos a la hora de diseñar un sistema de vapor.



**Fig. 35** Diagrama de los estados del agua o del vapor en el gráfico temperatura-entalpía (diagrama T-h) con las designaciones técnicas de las superficies

### 1.1.2 Vapor húmedo

El vapor húmedo es una mezcla de las fases líquida y gaseosa del agua. El vapor con una fracción másica de agua muy baja, de hasta un 3% aproximadamente, también se denomina en círculos técnicos vapor saturado. Este es el estado más común del vapor que se utiliza en los sistemas industriales para calentar productos.

Cuando el vapor sale de la caldera, arrastra pequeñas gotas de agua, lo que significa que el vapor tiene un contenido residual de humedad, es decir, una fracción líquida (del 1 al 3% de la masa total). Este contenido de humedad residual puede reducirse a aproximadamente el 0.1% de la cantidad de vapor a la salida de la caldera, instalando, por ejemplo, secadores de vapor.



Cuando el contenido de humedad residual es  $\leq 3\%$ , en los círculos técnicos se sigue hablando de vapor saturado y no de vapor húmedo.

El contenido de humedad residual es la fracción de masa de agua con referencia a la masa total de la mezcla de agua y vapor. Además del contenido de humedad residual, también se utiliza la expresión fracción de vapor  $x$  para referirse a la proporción de vapor en la mezcla de agua/vapor.

Se expresa mediante la fórmula siguiente:

fracción de vapor =  $100\% - \text{contenido de humedad residual}$

Ejemplo en el límite del vapor saturado técnico:

$100\% - 3\% \text{ contenido de humedad residual} = 97\% \text{ fracción de vapor}$



→ Fig. 35, página 104

Debido a las pérdidas de calor al medio ambiente que se producen en todas las tuberías de vapor, parte del vapor se condensa de nuevo, lo que significa que en este caso siempre existe vapor demasiado húmedo con una pequeña fracción de agua en las tuberías. Esta fracción de agua debe eliminarse del vapor a intervalos adecuados mediante válvulas de control y tramos verticales de tuberías (por ejemplo, con purgadores de condensados).

El vapor húmedo con una fracción másica de vapor muy baja se produce, por ejemplo, durante la reevaporación aguas abajo de los purgadores de condensados de tipo flotador. En este caso es especialmente importante tener en cuenta que el volumen aumenta considerablemente durante la reevaporación. Esto debe tenerse en cuenta al dimensionar las tuberías de condensado.

→ Tecnología – Capítulo 5.4: Tuberías de condensado, página 222

### 1.1.3 Vapor sobrecalentado

Si el vapor saturado se calienta más, la temperatura del vapor aumenta con la misma presión. Se habla entonces de vapor caliente o vapor sobrecalentado. El vapor sobrecalentado puede generarse en calderas pirotubulares utilizando el módulo de sobrecalentamiento adicional. En este caso pueden alcanzarse temperaturas  $\leq 100\text{ K}$  por encima de la temperatura del vapor saturado.

El vapor sobrecalentado se utiliza para accionar turbinas de gas o distribuir vapor a distancias muy grandes, ya que la condensación sigue sin producirse a pesar de la pérdida de calor.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que la transferencia de calor del vapor sobrecalentado hasta el inicio de la condensación es menor. Por este motivo, el vapor sobrecalentado es un poco menos adecuado para el calentamiento en intercambiadores de calor que el vapor saturado.

#### **1.1.4 Vapor de alta o baja presión**

El vapor con una presión de  $p \leq 0.5$  bar (1.5 bara, 110 °C) se denomina vapor de baja presión. El vapor con una presión de  $p > 0.5$  bar se denomina vapor de alta presión. Esta diferenciación se debe exclusivamente a las normas de instalación y funcionamiento de los sistemas de calderas de vapor, ya que para el vapor de alta presión se aplican condiciones específicas de funcionamiento, instalación y control. Como la densidad del vapor de baja presión es muy baja y las tuberías, válvulas y aparatos deben tener un tamaño muy generoso para permitirlo, normalmente sólo se utiliza para pequeñas producciones de vapor (hasta aproximadamente 3 t/h) y distancias cortas.

→ Tecnología – Capítulo 5.5: Tubo de purga de la válvula de seguridad, página 224

#### **1.1.5 Vapor culinario**

El vapor culinario es vapor saturado técnico con el requisito adicional de que no se utilizan agentes dosificadores de vapor volátil para la alcalinización y la fijación del oxígeno residual.

Se utiliza, como su nombre indica, para el procesamiento de alimentos para personas y animales. Este vapor puede entrar en contacto directo con los alimentos (por ejemplo, al pelar patatas).

#### **1.1.6 Vapor puro**

El vapor puro, también denominado vapor ultrapuro, se genera en evaporadores especiales de acero inoxidable que se calientan con vapor saturado normal.

Se utiliza en situaciones en las que existen requisitos estrictos en relación con la esterilidad del vapor (por ejemplo, en hospitales para la esterilización de instrumentos quirúrgicos o en la industria farmacéutica).

#### **1.1.7 Vapor de expansión**

El vapor de expansión se produce en muchos puntos del sistema de una caldera de vapor, por lo que debe tenerse en cuenta.

Esto ocurre en el vaso de expansión de purga o en los depósitos de condensado, entre otros lugares, donde el vapor de expansión provoca pérdidas de calor. Las pérdidas de vapor de expansión pueden reducirse tomando las medidas adecuadas de recuperación de calor.

La reevaporación del agua hirviendo se aprovecha conscientemente en los acumuladores de vapor para proporcionar cantidades muy grandes de vapor.

→ Eficiencia – Capítulo 3.1: Purga de superficie y purga de fondo, página 277

→ Tecnología – Capítulo 4.3.4: Almacenamiento de vapor, página 194

**Vapor de expansión/re-evaporación:**

Si la presión del agua caliente en estado líquido se reduce por debajo de la presión de ebullición, parte del agua se evapora y se separa en fase líquida y vapor. Durante este proceso, la temperatura del agua y del vapor se reduce a la temperatura de ebullición de la presión aplicada.

Este efecto físico suele denominarse reevaporación.

**Ejemplo:**

El agua a una temperatura de  $T = 195\text{ °C}$  se expande a una presión de  $p = 4\text{ bar}$ . La entalpía (energía) del sistema permanece constante durante la expansión. Al mismo tiempo, la masa del sistema también permanece constante, por lo que puede establecerse un balance energético en forma de balance entálpico.

Energía en el sistema **antes** de la expansión = energía en el sistema **después** de la expansión



$$h = (1 - x) \cdot h' + x \cdot h''$$



**F17.** Ecuación del balance energético durante la expansión

$$x = \frac{h - h'}{h'' - h'} = \frac{h - h'}{r}$$



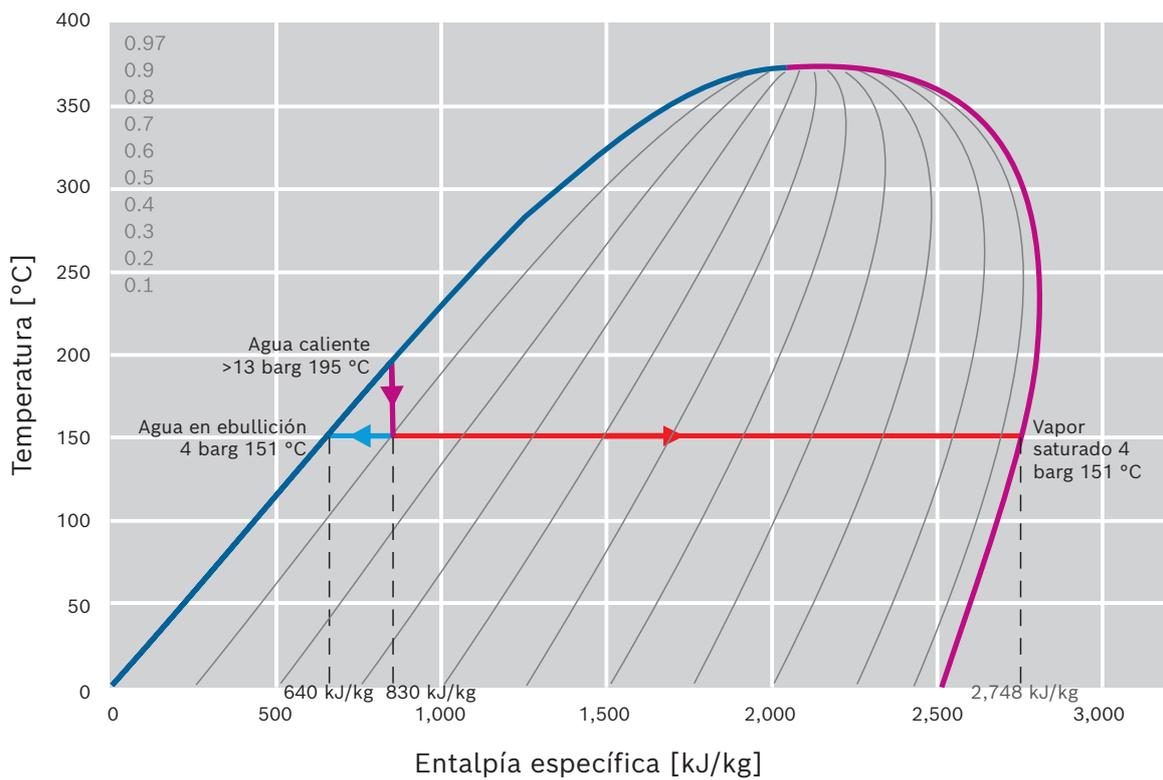
**F18.** Ecuación para calcular la fracción másica del vapor de expansión

- x Fracción másica del vapor de expansión [%]
- h Entalpía [kJ/kg]
- h' Entalpía del agua en ebullición [kJ/kg]
- h'' Entalpía del vapor saturado [kJ/kg]
- r Entalpía de evaporación [kJ/kg]

$$x = \frac{919 \text{ [kJ/kg]} - 782 \text{ [kJ/kg]}}{2,780 \text{ [kJ/kg]} - 782 \text{ [kJ/kg]}} = 6.86 \%$$



**B8.** Ejemplo de cálculo para determinar la fracción másica del vapor de expansión

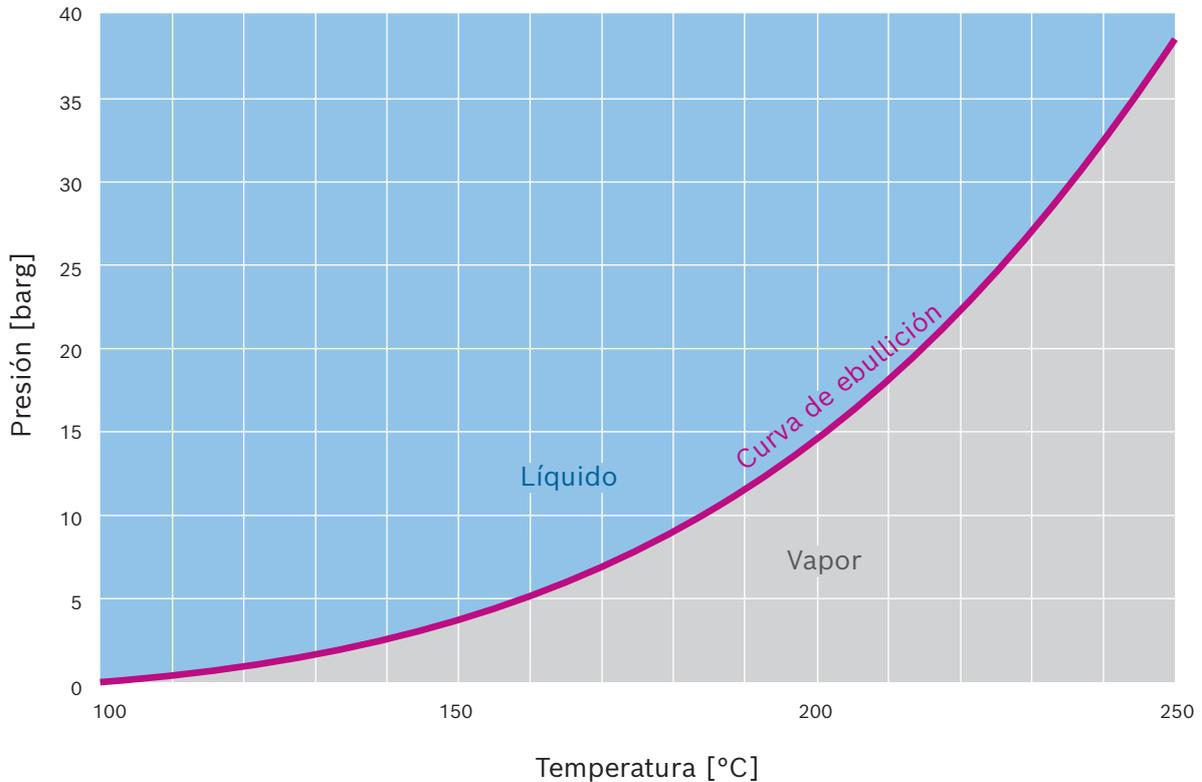


**Fig. 36** Reevaporación mostrada en el gráfico temperatura-entalpía (diagrama T-h)



## 1.2 Presión y temperatura

En las calderas de vapor saturado existe una correlación física entre la temperatura y la presión. Esto se representa gráficamente mediante lo que se denomina curva de ebullición.



**Fig. 37** Curva de ebullición del agua pura en el gráfico presión-temperatura (intervalo < 40 bar)

Esto significa que la temperatura en un sistema de vapor saturado siempre puede establecerse midiendo la presión. Esta correlación es muy importante para el calentamiento, ya que la temperatura permanece constante hasta que el vapor se ha condensado por completo (por ejemplo, en un intercambiador de calor). Sólo cuando no hay nada de vapor, se enfría el agua, que entonces está presente exclusivamente. Esta correlación también se utiliza para controlar los sistemas de vapor. Como la presión se puede medir con gran rapidez y precisión, también se puede determinar con exactitud la temperatura.

## 1.3 Entalpía

La entalpía específica  $h$  [kJ/kg] es la cantidad total de calor contenida en el vapor.

La entalpía se divide en la parte sensible que produce un cambio de temperatura y la parte latente ("oculta") en la que la proporción de vapor varía entre 0 ... 100 % a temperatura constante.

Durante el calentamiento, el agua se calienta hasta alcanzar la curva de ebullición. Una vez alcanzada la curva de ebullición, la proporción de vapor aumenta a medida que se suministra más energía hasta que el agua se ha evaporado por completo.

La entalpía específica de evaporación  $r$  del agua en [kJ/kg] es la cantidad de calor que debe absorber 1 kg de agua para que pase del estado líquido al vaporoso. Como el calor se suministra en la caldera a presión constante y, por tanto, la temperatura no aumenta, esta cantidad de calor también se denomina calor latente u "oculto".

A la inversa, el mismo proceso se produce cuando se transfiere calor. El vapor se condensa cuando el calor latente se transfiere al producto hasta que sólo queda líquido (agua). Sólo en este punto se enfría el condensado. Este proceso de enfriamiento que se produce en el condensado suele describirse como sobreenfriamiento hasta por debajo de la temperatura que corresponde a la presión del vapor en la curva de ebullición.

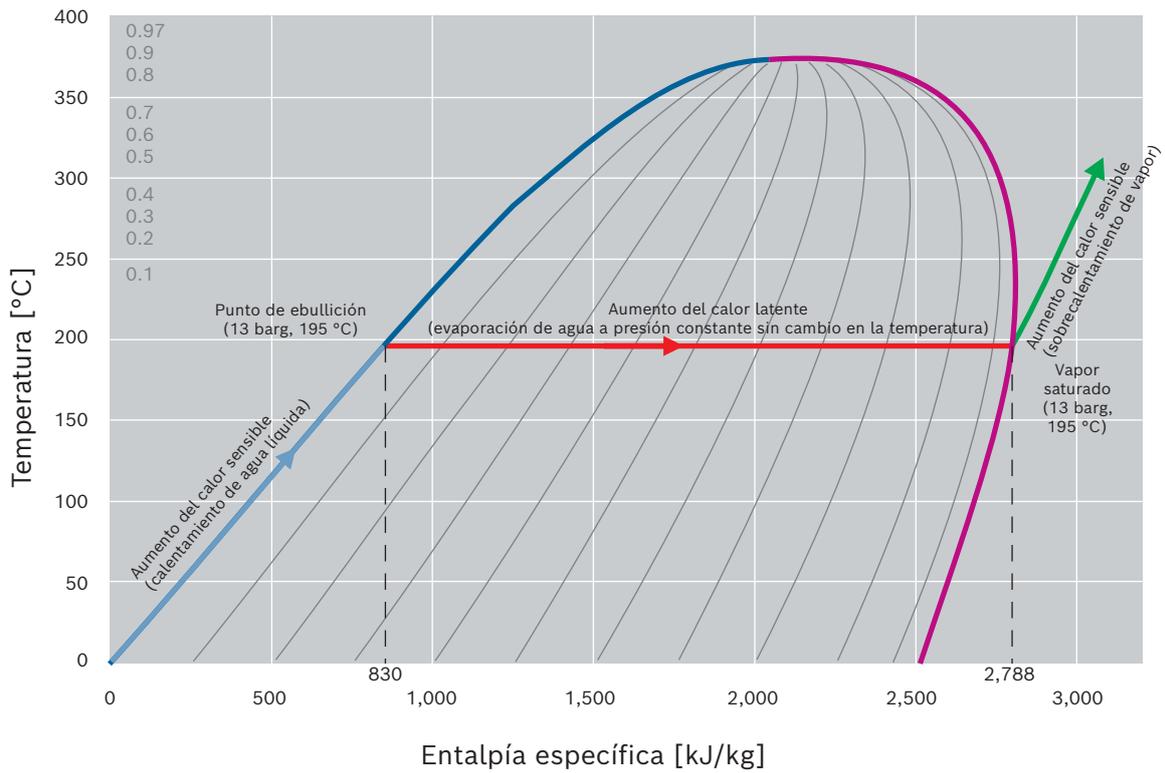
### **Calor sensible**

La adición o eliminación de calor provoca un cambio de temperatura, por ejemplo, el calentamiento del agua o el recalentamiento del vapor.

### **Calor latente**

Añadir o quitar calor no tiene ningún efecto sobre la temperatura. El calor se oculta en la transición de fase, por ejemplo, del agua al vapor.





**Fig. 38** Concepto de calor sensible y latente en el gráfico temperatura-entalpía (diagrama T-h)

- Líquido saturado
- Agua a presión
- Vapor sobrecalentado
- Vapor saturado
- Vapor húmedo

## 1.4 Ventajas y desventajas de los sistemas de vapor

### 1.4.1 Ventajas y desventajas de los sistemas de vapor frente a los de agua caliente

#### Ventajas

- Menor caudal másico para la misma cantidad de calor transferido (factor 10 ... 50)
- No se necesitan bombas de circulación
- Secciones de tubería más pequeñas
- Posibilidad de calentamiento uniforme muy rápido en los consumidores de calor
- Posibilidad de control rápido y preciso de la temperatura ajustando la presión del vapor
- Se pueden liberar grandes cantidades de energía a una temperatura constante
- Coeficiente de transferencia de calor muy elevado durante la condensación. Esto reduce la superficie de los intercambiadores de calor y los costes del sistema de generación de calor de proceso.
- Adecuado para calentar productos directamente (por ejemplo, alimentos, autoclaves)
- El sistema puede ampliarse fácilmente de forma modular
- Respuesta no crítica en caso de fugas en juntas o válvulas

#### Desventajas

- Se requiere personal cualificado para su funcionamiento<sup>1)</sup>
- Se requiere un tratamiento continuo del agua

1) Los requisitos para los sistemas de calefacción  $\leq 110$  °C son menos exigentes

### 1.4.2 Ventajas y desventajas de los sistemas de vapor frente a los de aceite térmico

#### Ventajas

- Menor caudal másico para la misma cantidad de calor transferido (factor 20 ... 80)
- No se necesitan bombas de circulación
- Características de transferencia térmica del vapor significativamente mejores
- Los aceites de transferencia térmica de los sistemas de aceite térmico son nocivos para el medio ambiente y, por tanto:
  - Se requiere el uso de intercambiadores de calor de seguridad
  - Todas las juntas deben estar equipadas con sistemas de detección de fugas.
  - Se requieren juntas especiales en bombas y válvulas
- Los aceites de transferencia de calor constituyen un peligro de incendio
- Reducción de los costes de explotación del calor de proceso, sobre todo porque se puede alcanzar un alto grado de eficiencia y utilización

#### Desventajas

- No apto para refrigeración
- Temperaturas de calentamiento  $\leq 230$  °C (sistemas de vapor saturado) o  $\leq 300$  °C (sistemas de vapor sobrecalentado)





**BOSCH**



## 2 Caldera

Para la generación de vapor se dispone de dos tipos con diseños diferentes:

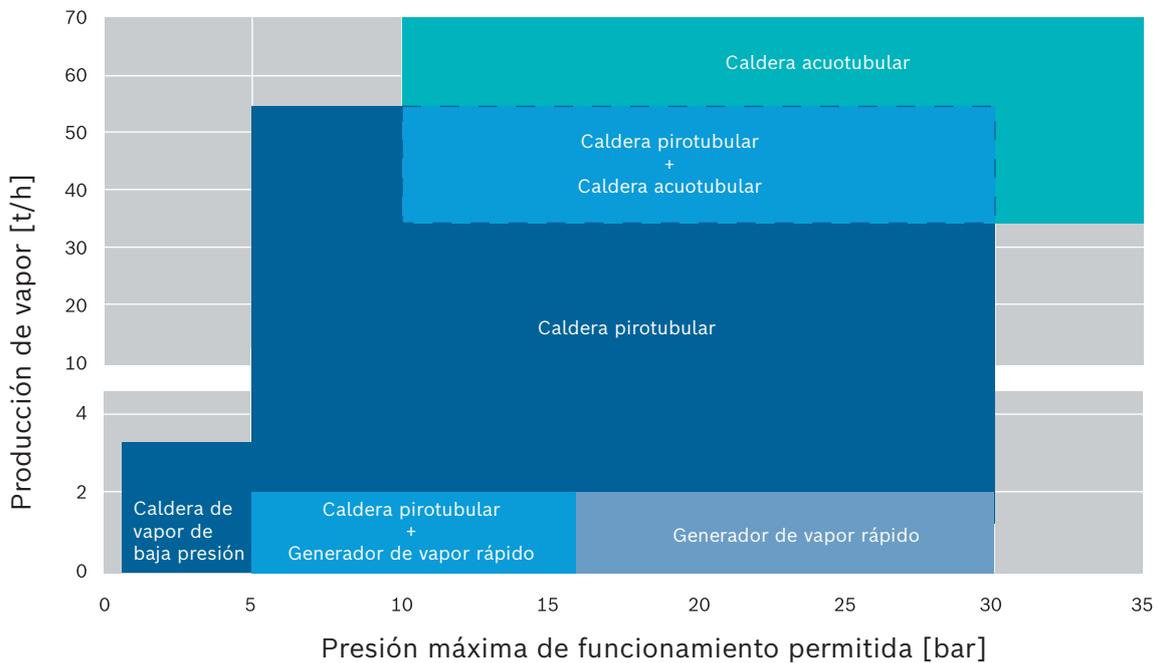
### Calderas acuotubulares

En las calderas acuotubulares, el agua fluye por los tubos que se calientan externamente. Este tipo de caldera se utiliza sobre todo con potencias de vapor muy grandes > 100 t/h y presiones de vapor elevadas > 32 bar. En las calderas acuotubulares también se pueden quemar sólidos, ya que la cámara de combustión puede tener cualquier forma mediante la disposición deseada de las paredes de los tubos.

### Caldera pirotubulares

En las calderas pirotubulares, los gases de combustión o los gases de calor residual utilizados para la calefacción fluyen por los tubos y liberan su energía en el espacio de agua circundante. La combustión tiene lugar en un tubo de llama situado en la cámara de agua. Posteriormente, los gases de combustión se enfrían en los pasos de los tubos. Por eso también se denominan calderas de tubos de humo y llama.

→ Reporte técnico FB013: comparación de calderas pirotubulares y acuotubulares



**Fig. 39** Ámbitos de aplicación estándar de los tipos de caldera pirotubular, generador de vapor rápido y caldera acuotubular

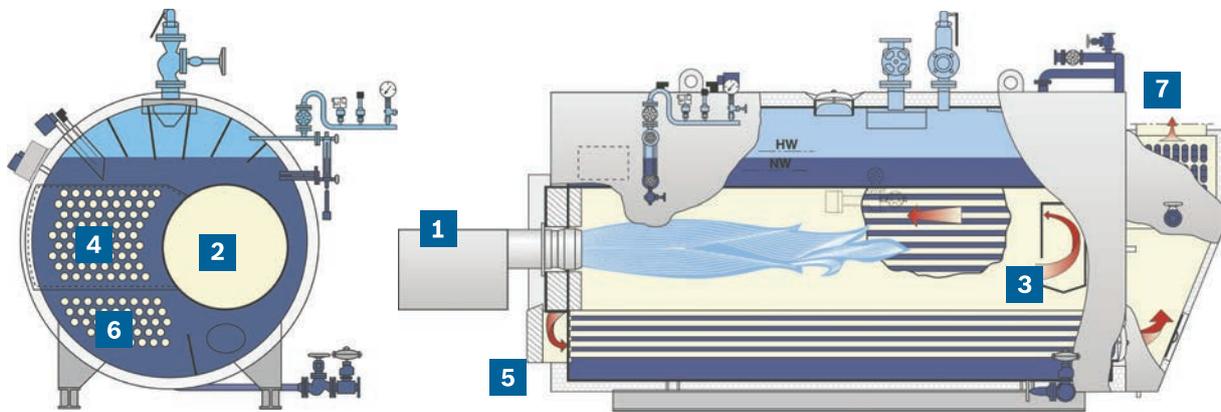
## 2.1 Tipos

Debido a los siguientes requisitos para las calderas de vapor, han surgido varios tipos:

- Instalación
- Funcionamiento
- Presión y producción de vapor
- Sistemas de combustión de bajas emisiones
- Alto rendimiento

### 2.1.1 Caldera de 3 pasos

La caldera de 3 pasos consta de tres conductos de humos horizontales integrados en un gran recipiente de presión cilíndrico cerrado en cada extremo por dos zócalos de nivel. Todos los conductos están situados en el espacio de agua, que ocupa aproximadamente el 75% de la superficie. Encima se encuentra el espacio de vapor. Estas calderas también se denominan calderas pirotubulares y contienen un gran volumen de agua.



**Fig. 40** Caldera pirotubular de 3 pasos

- |  |   |
|--|---|
| <b>1</b> Quemador                        | <b>5</b> Cámara de inversión frontal                          |
| <b>2</b> Tubo de llama (paso 1)          | <b>6</b> Paso del tubo de humos (paso 3)                      |
| <b>3</b> Cámara de inversión interna     | <b>7</b> Conexión de gases de combustión para el economizador |
| <b>4</b> Paso del tubo de humos (paso 2) |   |

La combustión tiene lugar en el paso 1, el hogar. Aquí se transmite aproximadamente la mitad del calor, principalmente por radiación térmica a las paredes del hogar. La combustión se completa al final del tubo de llama y los gases de combustión se desvían al paso 2 a través de la cámara de reversión interna refrigerada por agua.

Aproximadamente el 35 % de la potencia térmica se transfiere entonces en el panel de tubos del paso 2. A continuación, los gases de combustión entran en la cámara de inversión por la parte delantera exterior a una temperatura de ~ 400 °C, donde son redirigidos al paso 3.

Después del paso 3, la temperatura de los gases sigue siendo normalmente de 200 ... 280 °C, dependiendo de la temperatura del medio en la cámara de agua de la caldera.

Este potencial térmico puede aprovecharse en un economizador integrado de forma que se alcance una temperatura de 90 ... 140 °C en la salida de humos.

Esto permite a las calderas monotubo de llama alcanzar una producción de vapor de hasta 28.000 kg/h.

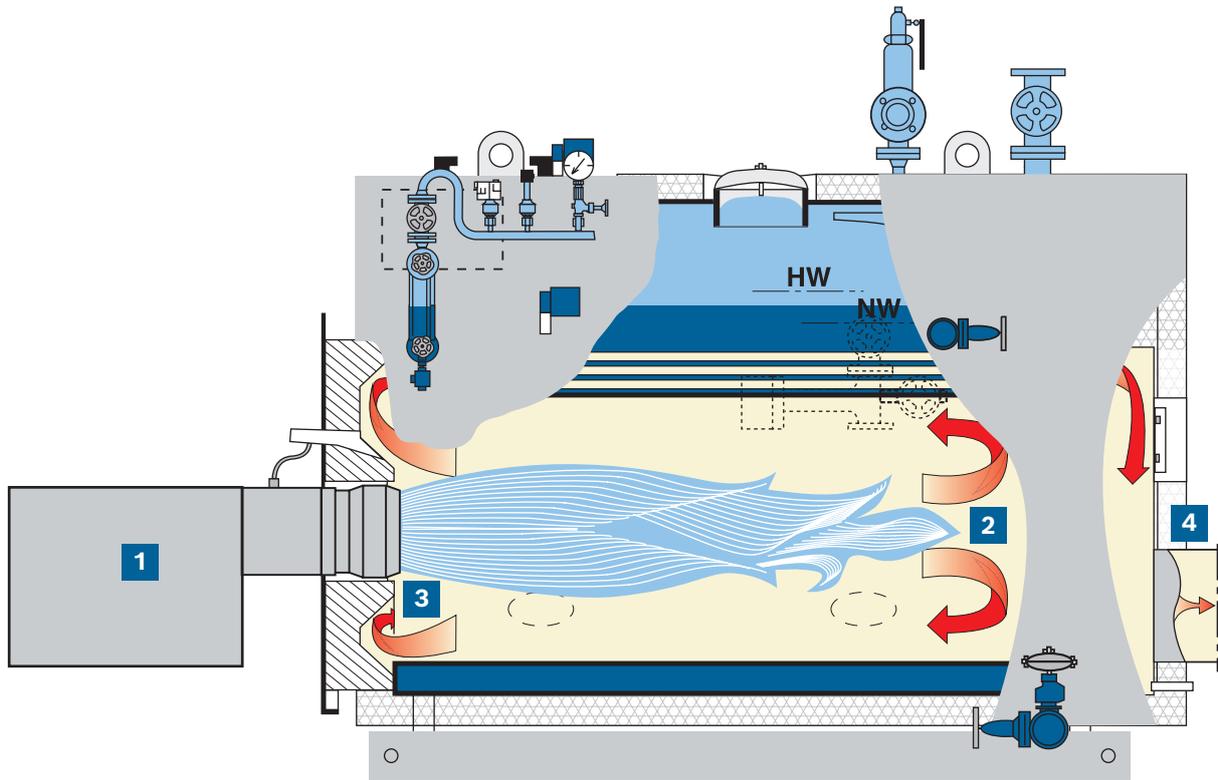


Las calderas de doble tubo de llama pueden utilizarse para conseguir mayores rendimientos. Estas calderas disponen de dos tubos de llama con un segundo y un tercer paso de humos separados dispuestos en paralelo en el espacio de agua. Esto permite construir calderas con potencias de vapor de hasta 55.000 kg/h. El funcionamiento sin restricciones de un solo tubo de llama también aumenta la fiabilidad y el rango de control de la caldera.



**Fig. 41** Caldera pirotubular de 3 pasos con diseño de doble tubo de llama

## 2.1.2 Caldera de llama inversa



**Fig. 42** Caldera de llama inversa

- 1** Quemador
- 2** Cámara de inversión interna
- 3** Cámara de inversión frontal
- 4** Conexión de gases de combustión para el economizador

La caldera de llama inversa se desarrolló como caldera de vapor para pequeñas producciones de 175 ... 3.200 kg/h. En esta caldera, el hogar de combustión está dispuesto en el centro y la dirección del flujo se invierte al final del hogar de combustión, de modo que los gases de combustión del interior del hogar de combustión retroceden hacia la parte delantera. Por eso se denomina caldera de inversión de llama. En la cámara de inversión frontal, los gases de combustión se desvían hacia el conjunto de tubos alrededor del hogar. Este tipo se caracteriza por un diseño muy compacto. Como combustible puede utilizarse gasóleo o gas.



**Fig. 43** Caldera de llama inversa

### 2.1.3 Caldera con aprovechamiento del calor residual

Una caldera de 4 pasos o caldera de recuperación de calor puro es un tipo especial de caldera que utiliza el calor residual para generar vapor. En la caldera de 4 pasos, una parte del tercer paso del tubo de humos se utiliza como paso independiente para el paso de los gases de combustión calientes y suministra hasta un 15 % de la energía suministrada. Una caldera de recuperación de calor pura no tiene quemador. Obtiene toda su energía de los gases de combustión calientes (por ejemplo, de módulos de cogeneración o turbinas de gas).

→ Eficiencia – Capítulo 5.1: Cogeneración, página 303

→ Productos – Capítulo 3: Calderas de recuperación de calor y recuperación de calor residual, página 333

### 2.1.4 Generador de vapor rápido

Por su diseño, el generador de vapor rápido pertenece a la familia de las calderas acuotubulares cuyo sistema de presión consta de uno o varios serpentines. El agua fluye a través del serpentín o serpentines y se calienta desde el exterior por los gases de combustión. Los generadores de vapor rápidos funcionan según el principio de flujo forzado de un solo paso, lo que significa que el agua se evapora completamente en un ciclo. Sólo se almacena una pequeña cantidad de energía en la cámara de agua. Por lo tanto, estas calderas pueden alcanzar su pleno rendimiento en pocos minutos después de arrancar en frío, razón por la que también se denominan generadores de vapor rápidos. Se calientan mediante quemadores de chorro a presión alimentados con gasóleo o gas y la regulación de la potencia debe ajustarse siempre a la cantidad de agua que circula por la caldera.

	Calderas pirotubulares	Generador de vapor rápido
<b>Contenido de agua</b>	Gran contenido de agua	Pequeño contenido de agua
<b>Duración del calentamiento</b>	Más largo	Arranque en frío en varios minutos
<b>Respuesta a las fluctuaciones de carga</b>	Amortiguación de las fluctuaciones de carga de los consumidores Posibilidad de sobrecarga elevada a corto plazo al utilizar acumuladores de vapor	Fluctuaciones de alta presión incluso con ligeras variaciones de carga en los consumidores
<b>Humedad del vapor</b>	Vapor seco	Secador de vapor es necesario
<b>Aprobación de la instalación y supervisión<sup>1)</sup></b>	Normalmente sujetos a aprobación y supervisión obligatorias	Las condiciones de instalación y supervisión se han suavizado parcialmente en el rango de potencia muy pequeño
<b>Costes de adquisición</b>	Ligeramente superior	Menor
<b>Personal operativo<sup>1)</sup></b>	Se requiere un encargado de caldera cualificado <sup>1)</sup>	Se requiere personal de servicio formado <sup>1)</sup>
<b>Producción máxima de vapor</b>	≤ 55,000 kg/h por caldera	≤ 2,000 kg/h por caldera
<b>Eficiencia</b>	94 ... 105 % Por lo tanto, ideal para el funcionamiento continuo	< 90 % Por lo tanto, sólo apta para el suministro de vapor a corto plazo con poca antelación
<b>Grado anual de utilización</b>	≤ 95 %	Frecuente < 75 %
<b>Costes de servicio</b>	Más bajo	Superior
<b>Vida útil</b>	Robusto, poco desgaste, por lo tanto duradero	Bajo

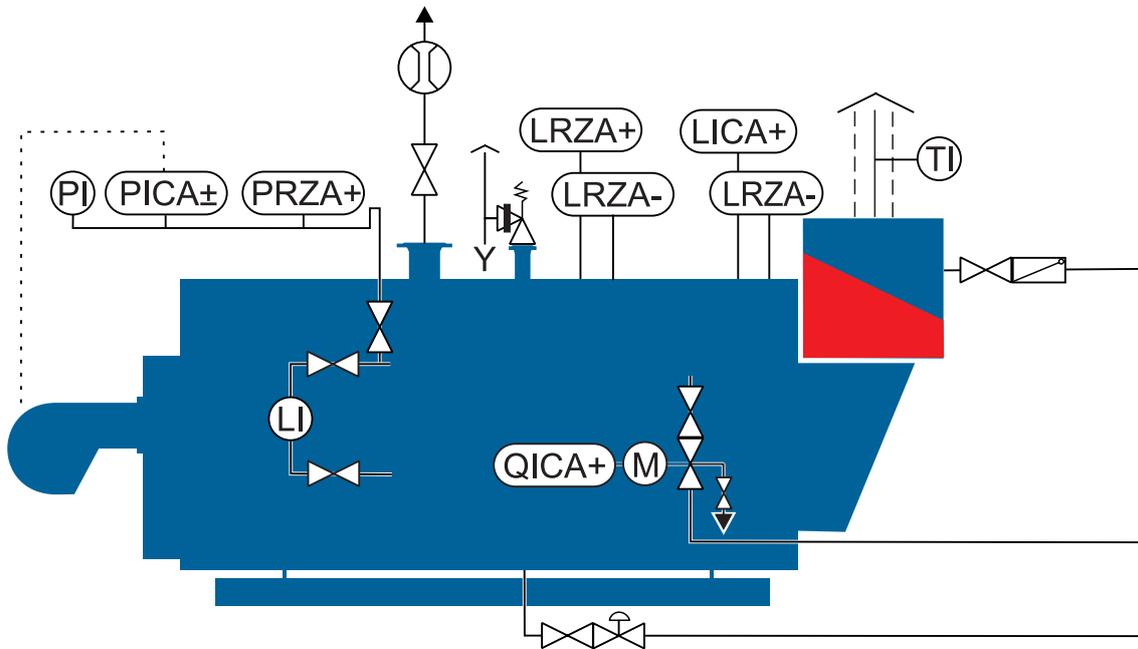
**Tab. 9** Comparación de los generadores de vapor rápidos con las calderas pirotubulares

1) Se refiere a Alemania



## 2.2 Equipamiento y control

Los requisitos mínimos para el funcionamiento y el equipo de seguridad de las calderas de vapor se establecen en la norma EN 12953-6. Esto incluye las válvulas de cierre primario en las tuberías, el equipo de seguridad para proteger contra el exceso de presión y la falta de agua, el equipo de calefacción y todas las válvulas y dispositivos de medición necesarios para el funcionamiento y el control. Todos estos equipos requieren una homologación de conformidad con la Directiva sobre equipos a presión.



**Fig. 44** Equipamiento de una caldera de vapor

El equipamiento de una caldera de vapor suele constar de los siguientes componentes:

- Válvula de cierre de extracción de vapor con medición del volumen de vapor
- Válvula de seguridad (protección contra sobrepresión)
- Válvula de corte de agua de alimentación con válvula antirretorno
- Manostato manómetro bar con válvula de cierre, limitador de presión (**PRZA+**), transmisor de presión (**PICA±**) y manómetro (**PI**)
- Dispositivo indicador de nivel directo con válvulas de cierre
- Dispositivo de medición de nivel con tubo protector 1 con limitador de nivel de agua bajo 1 (**LRZA-**) y transmisor de nivel (**LICA+**)
- Dispositivo de medición de nivel con tubo protector 2 con limitador de nivel de agua bajo 2 (**LRZA-**) y limitador de nivel de agua alto (**LRZA+**)
- Dispositivo de medición de la conductividad (**QICA+**)
- Válvula de control de purga de superficie con válvula de cierre
- Toma de muestras de agua
- Válvula de purga rápida de fondo con válvula de cierre
- Indicador de temperatura de los gases de combustión (**TI**)

Pueden ser necesarios componentes adicionales, como dispositivos para medir la cantidad de combustible, vapor, agua de alimentación y la temperatura de los gases de combustión, para optimizar el funcionamiento y para una posible gestión de la energía.

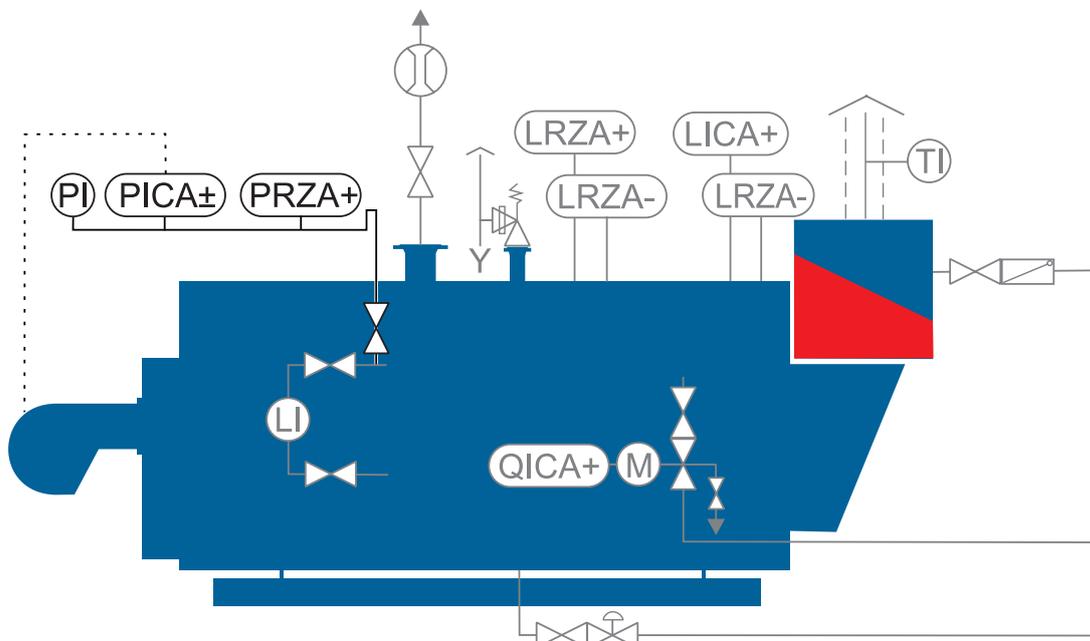
### 2.2.1 Control de potencia

La producción de vapor de las calderas se controla generalmente a través de la presión existente en la caldera. En este caso, la presión de la caldera se utiliza como variable sustitutiva de la cantidad de vapor. Si los consumidores necesitan más vapor, la presión en la caldera disminuye y el control de potencia aumenta el suministro de calor o la potencia de combustión del quemador. Como norma básica, debe tenerse en cuenta que el sistema de quemador/caldera es un sistema de respuesta lenta. Todas las unidades de control y válvulas mezcladoras que están conectadas a este sistema están ajustadas a estas características. En ningún caso se debe intentar controlar la presión en los consumidores o iniciar medidas en la caldera, ya que esto podría provocar oscilaciones en el control y cargas y averías innecesarias en la caldera. Con un consumo de potencia constante, una regulación correctamente ajustada y un quemador de regulación continua, se establece la potencia de combustión necesaria en el quemador para la tasa actual de extracción de vapor y la presión de la caldera se mantiene constante dentro de unos límites razonables con una desviación de  $\pm 10\%$  del valor nominal especificado.

→ Informe técnico FB001: control de potencia de las calderas de vapor

→ Planificación – Capítulo 2.1: Presión media de funcionamiento, página 27

La presión existente en la caldera puede leerse directamente en el manómetro (**PI**). El transmisor de presión (**PICA+**) mide la presión de la caldera y la convierte en una señal eléctrica estándar (4 ... 20 mA). Esta señal se procesa en el control de la caldera y se evalúa en función del modo de regulación. El quemador se activa mediante puntos de conmutación y valores de consigna ajustables. En este caso, el control del quemador ajusta la relación combustible-aire correcta.



**Fig. 45** Control de la potencia de una caldera de vapor mediante presión

- PI** Manómetro
- PICA±** Transmisor de presión
- PRZA+** Limitador de presión

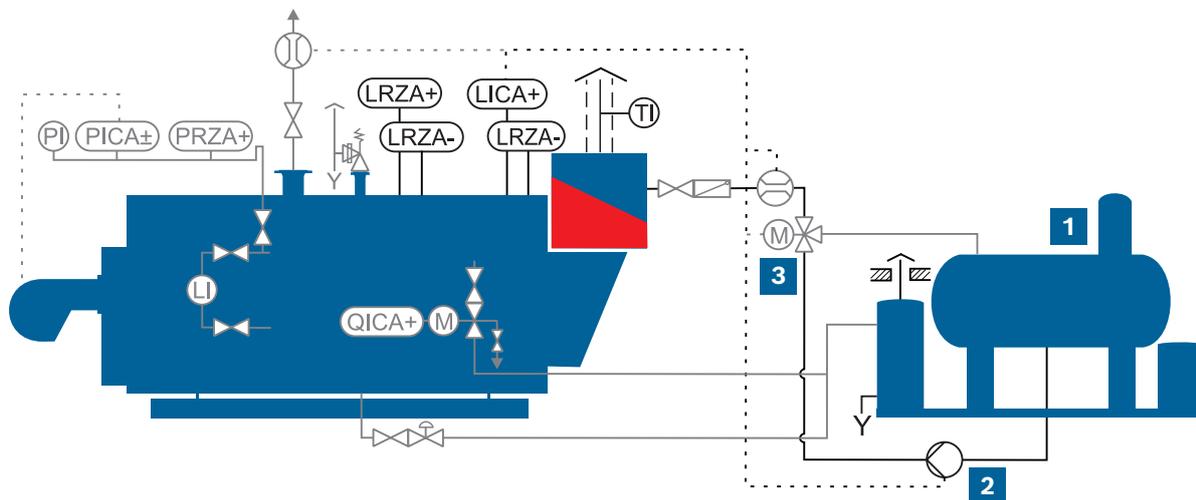


### 2.2.2 Control de nivel

El control de nivel en la caldera tiene la tarea de mantener un nivel de agua constante en la medida de lo posible. Dependiendo del diseño, el agua fluctúa normalmente entre los límites máximos de 80 ... 120 mm. El nivel de agua en el rango inferior está limitado visualmente por la marca de agua baja (**LW**), ya que las superficies de calefacción deben estar siempre bajo el agua para refrigerarse suficientemente. El límite superior del nivel de agua está definido por la marca de agua alta (**HW**). El espacio de vapor no debe ser demasiado pequeño, ya que de lo contrario podría entrar agua en la tubería de vapor, lo que afectaría negativamente a la calidad del vapor. Para evitar averías y daños en la caldera o en los consumidores posteriores, las posibilidades de ajuste en el regulador de nivel para el nivel medio de agua se han restringido en fábrica. El valor sólo puede ajustarse dentro del rango permitido.

El nivel de agua predominante en la caldera se mide continuamente con el transmisor de nivel (**LICA+**) y se convierte en una señal eléctrica estándar (4 ... 20 mA). Esta señal es procesada por el control de caldera BCO y controla la válvula de control del agua de alimentación o la bomba de alimentación, según el equipo seleccionado.

En la entrada de la caldera o del economizador hay una válvula de cierre y una válvula antirretorno para evitar que el agua vuelva a introducirse en el conducto de alimentación. Se ha instalado un indicador de nivel (**LI**) en la caldera a la altura del nivel de agua para visualizar directamente el nivel de agua.



**Fig. 46** Control de nivel de una caldera de vapor

- |              |   |          |   |
|--------------|---|----------|---|
| <b>LICA+</b> | Transmisor de nivel                                 | <b>1</b> | Depósito de agua de alimentación            |
| <b>LRZA+</b> | Limitador de nivel de agua alto                     | <b>2</b> | Bomba de agua de alimentación               |
| <b>LRZA-</b> | Limitador de nivel de agua bajo                     | <b>3</b> | Válvula de control del agua de alimentación |
| <b>TI</b>    | Indicador de temperatura de los gases de combustión |          |   |

Además del control de nivel, el nivel de agua también se limita mediante la cadena de seguridad.

→ Tecnología – Capítulo 2.2.4: Seguridad, página 127

	Recuperación de calor con ECO	Requisitos de las características de control	Proceso caracterizado por cambios rápidos de carga	Costos de inversión
<b>Continuo con válvula de control</b>	+++++	+++++	++	Moderado
<b>Barra colectora con válvula de control<sup>1)</sup></b>	+++++	+++++	++	Bajo
<b>Continuo con IM<sup>2)</sup></b>	++++	+++	++	Bajo
<b>Control de 3 componentes con válvula de control</b>	+++++	+++++	+++++	Muy alto
<b>Control de 3 componentes con IM en bomba<sup>2)</sup></b>	++++	+++	+++++	Alta
<b>ON/OFF</b>	No aplicable		+	Muy bajo

**Tab. 10** Ventajas y posibles usos de los distintos tipos de control de nivel

1) Sólo puede utilizarse con sistemas de varias calderas

2) IM = módulo inversor

### Control modulante con válvula de control

El control de nivel continuo con válvula de control sigue siendo la variante más popular, ya que ofrece las ventajas de un control rápido, fiable y sencillo.

→ Productos – Capítulo 4.10: Módulo de regulación del agua de alimentación RM, página 351

### Conmutación de barras con válvula de control

Cuando se utiliza la conmutación de barras, una bomba de alimentación alimenta varias calderas de vapor. En este caso, el nivel de agua de cada caldera se controla de forma independiente mediante una válvula de control de entrada.

### Control modulante con módulo inversor

La regulación del nivel mediante el control de velocidad en la bomba de alimentación es la variante más económica para potencias de caldera  $\leq 10$  t/h en términos de costes de inversión y costes de operación.

Además, tiene especial sentido utilizar este tipo de control de nivel si la caldera funciona a diferentes presiones de funcionamiento (por ejemplo, una caída de presión en el fin de semana), ya que entonces se pueden aprovechar al máximo las ventajas del control de velocidad con adaptación a la curva de la bomba.

Si se equipa la caldera con un economizador para la recuperación de calor, debe garantizarse que el rango de carga parcial del quemador también pueda cubrirse con el rango de regulación de frecuencia más pequeño de la bomba de alimentación, ya que, de lo contrario, no hay caudal a través del economizador en funcionamiento con carga baja, lo que significa que no puede producirse la recuperación de calor.



### Control de 3 componentes

Cuando la carga aumenta rápidamente, se produce un problema ya que el nivel de agua parece aumentar inicialmente debido a la formación de espuma en el agua de la caldera y, aunque es necesario aumentar la cantidad de agua de alimentación, esto no ocurre.

Al comparar continuamente las mediciones de corriente para las cantidades de vapor y agua de alimentación, el control de 3 componentes puede responder mucho más eficazmente a los cambios de estado.

### Control On/Off

La activación/desactivación de las bombas sólo se utiliza en algunos casos excepcionales y con potencias de vapor bajas, de hasta ~ 1 t/h.

Dado que, en comparación con las demás variantes de control, el beneficio en términos de costes de inversión es relativamente bajo y que se recupera mucho menos calor en el economizador porque las bombas se desconectan con frecuencia, un control continuo suele amortizarse en menos de dos meses.

### 2.2.3 Calidad de agua

En función de los distintos métodos físicos y químicos de tratamiento del agua, de la dosificación química para ligar la dureza residual y el oxígeno residual y de la alcalinización necesaria (aumento del valor pH en el depósito de agua de alimentación), el agua de alimentación contiene sales disueltas y otros ingredientes.

→ Tecnología – Capítulo 4.1: Tratamiento de agua, página 177

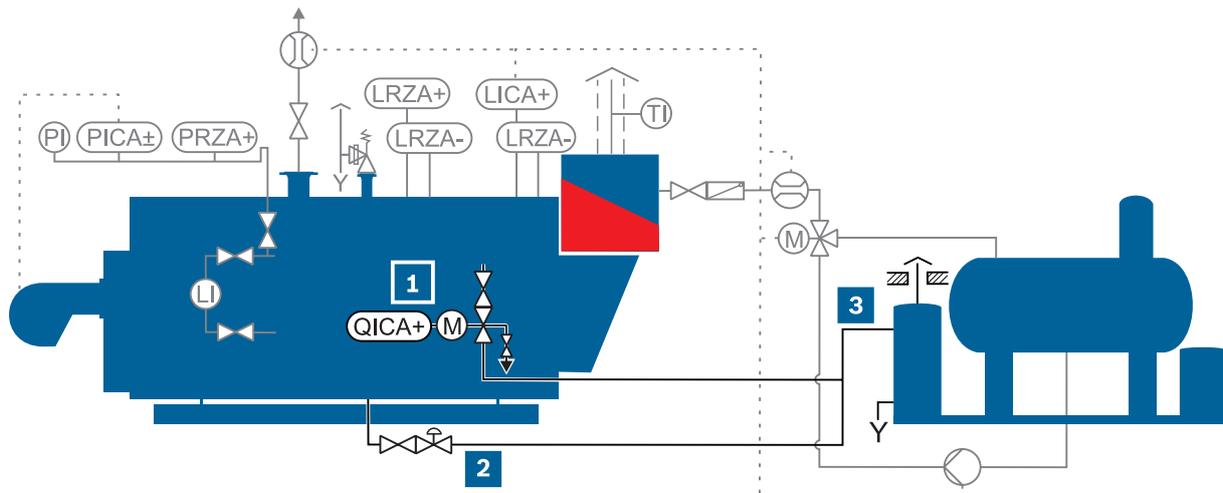
Debido al continuo proceso de evaporación cuando la caldera está en funcionamiento, aumentan los ingredientes residuales del agua de alimentación en el agua de la caldera. La acumulación de impurezas en el agua de la caldera es especialmente medible debido al aumento de la conductividad del agua de la caldera.

Para evitar las consecuencias negativas de un contenido excesivo de sales en el agua de la caldera que se describen a continuación, no deben superarse los límites especificados.

- Formación de espuma en el agua de la caldera
- Arrastre de agua en la tubería de vapor
- Fluctuaciones del nivel de agua
- Depósitos en la caldera
- Corrosión en la caldera y las tuberías

→ Informe técnico FB026: tratamiento moderno y análisis del agua

Por lo tanto, se elimina una cierta cantidad de agua de la caldera como resultado de la continua purga de superficie y la purga de fondo.



**Fig. 47** Control de la calidad del agua de caldera mediante descarga al depósito de expansión de purga

**QICA+** Transmisor de conductividad

**1** Válvula de purga de superficie

**2** Válvula de purga de fondo

**3** Depósito de expansión de la purga

### Control de la conductividad

La conductividad del agua de la caldera se mide con el transmisor de conductividad (**QICA+**) y se convierte en una señal eléctrica estándar (4 ... 20 mA). Esta señal se procesa en el control de caldera BCO, la conductividad medida se muestra en el armario de control y se genera la señal de accionamiento para abrir la válvula de purga de superficie motorizada. Para poder realizar una inspección visual, a menudo se instala una mirilla con válvula antirretorno en la tubería aguas abajo de la válvula de purga de superficie.

Dado que la calidad del agua de la caldera es un factor importante que influye en el funcionamiento correcto y sin problemas, debe comprobarse periódicamente y documentarse en el registro de la caldera.

Se pueden adoptar medidas de recuperación de calor para aprovechar el contenido energético del agua de purga de superficie en ebullición.

→ Eficiencia – Capítulo 3.1: Purga de superficie y purga de fondo, página 277

La conductividad medida en la caldera a la temperatura de funcionamiento es ligeramente superior debido a la disociación electrolítica. El sensor de conductividad realiza internamente una conversión utilizando la temperatura de referencia de 25 °C. Esta conductividad preajustada se muestra en el control de la caldera.

Además de la conductividad eléctrica, el contenido de ácido silícico ( $\text{SiO}_2$ ) y el valor de capacidad ácida 8.2 (valor p) son factores importantes que influyen en la calidad del agua de la caldera. Si se alcanza el límite admisible de una de estas variables debido a la densificación en el agua de la caldera, esta variable es definitiva para la purga superficial. Sin embargo, como sólo se mide la conductividad en el agua de la caldera, el valor de referencia de la conductividad en el agua de la caldera debe reducirse hasta que puedan respetarse todas las variables límite.

→ Herramientas – Capítulo 5.2: Purga de superficie y purga de fondo, página 405



### Control de purga de fondo

El control de purga de fondo elimina las materias en suspensión del agua de la caldera que se depositan en el fondo de la misma. Para ello, la válvula de descarga de fondo se abre durante unos segundos a intervalos regulares. La válvula se abre bruscamente, lo que produce una presión negativa local con un efecto de aspiración que elimina de la caldera los depósitos que se han acumulado en el fondo de la caldera (por ejemplo, acumulaciones de sales, agente dosificador descompuesto).

Los tiempos de apertura de la válvula durante este proceso deben ser muy cortos y estar dentro del rango de unos pocos segundos. Si los tiempos de apertura de la válvula de purga de fondo son más largos, esto sólo aumenta la pérdida de agua y energía de la caldera sin hacer que la purga de fondo sea más eficaz. La purga de fondo puede realizarse manual o automáticamente si la caldera no está atendida continuamente durante el funcionamiento.

Antes de la válvula de purga de fondo se instala una válvula de cierre manual. Para favorecer el efecto de aspiración y permitir la evacuación del agua de la caldera que se ha evaporado de nuevo, las tuberías que conducen al depósito de expansión de la purga directamente aguas abajo de la válvula deben ser 2 diámetros nominales mayores. Para evitar los golpes de ariete, las tuberías que conducen al depósito de expansión de purga deben instalarse, siempre que sea posible, sin cambios de altura ni bolsas de agua.

La mayoría de las calderas también se vacían a través de la válvula de purga inferior.

### 2.2.4 Seguridad

La seguridad del sistema se garantiza principalmente mediante un funcionamiento correcto, una funcionalidad perfecta y el mantenimiento de los equipos y las unidades de control de las calderas de vapor.

Para garantizar la seguridad en todo momento, también cuando fallan las unidades de control normales, se prescriben dispositivos limitadores para todas las calderas de vapor. Junto con los botones de parada de emergencia del armario de control y las puertas de escape, están conectados en serie en la cadena de seguridad del armario de control de la caldera, de modo que cuando se dispara uno de estos elementos, se desactiva el funcionamiento de la caldera.

Si se dispara uno de los dispositivos limitadores, se desconecta y bloquea el sistema de combustión y, por tanto, la calefacción de la caldera. En las calderas de calor residual, esto se hace cambiando las compuertas de gases de combustión a bypass o desconectando la unidad generadora de calor. Este bloqueo sólo puede volver a activarse manualmente en la caldera. De este modo se garantiza que, tras condiciones de funcionamiento excepcionales, el encargado de la caldera haya identificado y eliminado la causa de la avería antes de volver a poner la caldera en funcionamiento.

#### Limitador de presión de seguridad

El limitador de presión de seguridad (**PRZA+**) se activa al 95 % de la presión de funcionamiento máxima admisible y desconecta la calefacción de la caldera.

### **Válvula de seguridad**

La válvula de seguridad debe impedir de forma fiable que se supere la presión máxima admisible en la caldera si falla el limitador de presión de seguridad.

En las calderas pirotubulares, esto se consigue mediante válvulas de seguridad de muelle de acción directa de carrera completa con bonete de muelle abierto.

Una vez que la válvula de seguridad ha actuado, la presión en la caldera debe descender aproximadamente un 10 % por debajo de la presión máxima admisible antes de que la válvula de seguridad se cierre automáticamente debido a la tensión del muelle. En la medida de lo posible, las tuberías posteriores deben conducirse directamente a la atmósfera.

→ Tecnología – Capítulo 5.5: Tubo de purga de la válvula de seguridad, página 224

### **Indicador de nivel de agua baja**

Las superficies de calentamiento de la caldera deben estar rodeadas de agua en todo momento para garantizar una refrigeración suficiente. Si el nivel de agua de la caldera desciende hasta el punto de que las superficies de calefacción dejan de estar en contacto con el agua, existe un grave peligro de sobrecalentamiento y posible destrucción de la caldera.

Para estar seguros de evitar que las superficies de calefacción salgan a flote, se instalan en la caldera dos indicadores de nivel de agua bajo de tipo comprobado que funcionan independientemente el uno del otro. En los generadores de vapor, el electrodo del indicador de nivel se instala en un tubo protector para evitar un mal funcionamiento peligroso debido a la formación de espuma en el agua de la caldera.

→ Informe técnico FB005: historia del desarrollo de los indicadores de nivel de agua en calderas de vapor y agua caliente

### **Indicador de nivel de agua alta**

En los sistemas de calderas que funcionen durante un período de 72 horas sin asistencia, se requiere un indicador adicional de nivel de agua alto para que cuando se supere el nivel de agua más alto permitido en la caldera no pueda introducirse agua en las tuberías de vapor aguas abajo.

### **Limitación de la conductividad**

La conductividad máxima admisible también está limitada en los sistemas de calderas durante un periodo de 72 horas de funcionamiento sin asistencia para evitar la formación incontrolada de espuma o la acumulación de depósitos en la caldera. Cuando se supera el límite, en este caso también se desconecta el sistema de combustión.

### **Otros equipos de seguridad**

El sistema de combustión puede desconectarse por otros fallos además de los dispositivos limitadores montados directamente en la caldera de vapor. Las modificaciones precisas para el combustible correspondiente y los distintos equipos se describen en la norma EN 12953 parte 9.

→ Norma EN 12953-9 "Calderas pirotubulares - Parte 9: requisitos para los dispositivos de limitación en calderas y accesorios"



### Parada de emergencia

Los botones de parada de emergencia están instalados en todas las vías de evacuación y en el armario de control de la caldera. Cuando se pulsa un botón de parada de emergencia, se activa la cadena de seguridad de la caldera. Se recomienda instalar un botón de parada de emergencia adicional fuera de la sala de calderas.

### Monitorización del sistema de combustión - monitorización de la llama

Si no se detecta una llama en la cámara de combustión cuando la alimentación de combustible está en funcionamiento, se produce una desconexión por avería de la caldera al cabo de unos segundos. De este modo se evita que el combustible no quemado forme una mezcla inflamable en el sistema de gases de combustión que podría provocar un encendido difícil durante un arranque posterior del quemador.

### Monitorización del sistema de combustión - alimentación de combustible

La estanqueidad de la válvula de cierre de gas y la presión mínima y máxima de la alimentación de combustible también se controlan para garantizar que no pueda formarse una mezcla inflamable en la caldera o en el recorrido de los gases de combustión.

→ Fig. 59, página 142

### Monitorización del sistema de combustión – dispositivo de seguridad contra deficiencias de aire

El funcionamiento y la función del ventilador de aire de combustión se controlan mediante lo que se denomina un dispositivo de seguridad de deficiencia de aire. Para ello, se instala un indicador de presión de aire mínima (**PZA**) entre el ventilador y la cabeza de la llama.

### Suministro de vapor

El conector de alimentación de vapor con válvula de cierre se encuentra en la corona de la caldera. Desde aquí se alimenta el vapor saturado a la red de vapor aguas abajo. Para limitar la emisión de ruido, el conector de alimentación de vapor debe dimensionarse de modo que la velocidad de flujo no pueda superar  $\geq 40$  m/s. También debe tenerse en cuenta que el diámetro del conector debe dimensionarse con referencia a la presión de funcionamiento mínima prevista, ya que el mayor volumen específico de vapor existe a esta presión.

Debajo del conector, en el interior de la caldera, hay una placa deflectora para garantizar que las pequeñas gotas arrastradas por el flujo permanezcan en la caldera y que el vapor que sale de la caldera esté lo más seco posible. El contenido de humedad residual puede llegar a ser del 3%.

Para mejorar la calidad del vapor, también se puede montar aquí un desempañador de malla metálica. Esto puede reducir el contenido de humedad residual a aproximadamente un 0.1%.

→ Tecnología – Capítulo 4.3.1: Secado por vapor, página 192

## 2.2.5 Equipo de medición opcional

Los dispositivos de medición adicionales, por ejemplo para medir el caudal y la temperatura, proporcionan información más detallada sobre el funcionamiento de la caldera. Por un lado, pueden integrarse en el control de la caldera para satisfacer exigencias más estrictas en relación con la calidad del control. Por otro lado, son un medio importante para evaluar la eficacia del funcionamiento de la caldera. Mediante la adquisición, el registro y la evaluación de estos datos, también se puede optimizar el funcionamiento de la caldera tras la puesta en servicio (por ejemplo, en caso de cambios en el funcionamiento). Además, de este modo también pueden satisfacerse los requisitos derivados de cualquier sistema interno de gestión de la energía existente. A continuación se describen los métodos de medición más habituales.

→ Folleto sobre controles y conectividad

### Medición del volumen de vapor

Con la medición del volumen de vapor, se mide el caudal de vapor suministrado a la red de vapor. En combinación con una medición de la presión o la temperatura con vapor saturado o una medición de la presión y la temperatura con vapor sobrecalentado, el volumen de vapor puede convertirse en un caudal de vapor y en la producción de calor útil suministrada por la caldera.

### Medición del caudal de agua de alimentación

Durante la medición del caudal de agua de alimentación, se mide el agua de alimentación suministrada a la caldera.

### Medición del flujo de combustible

La medición del caudal de combustible es necesaria para cada sistema de calderas individual a fin de poder ajustar la potencia de combustión máxima admisible durante la puesta en servicio.

Con combustibles líquidos, la medición se realiza siempre con asignación directa a una caldera. El caudal de combustible se mide en [l/min] o [l/h].

Con combustibles gaseosos, se recomienda urgentemente una medición asignada directamente a la caldera. Por razones de costes, en ocasiones se omite y se utiliza la medición del proveedor de energía en la estación de transferencia de gas. La medición del caudal de gas en  $[m_b^3/h]$  debe convertirse posteriormente  $[m_n^3/h]$  junto con una medición de la presión y la temperatura a efectos de evaluación.

Junto con la información sobre el valor calorífico neto [kWh/kg] o [kWh/l] para combustibles líquidos y  $[kWh/m_n^3]$  para combustibles gaseosos, se puede realizar una conversión a la cantidad de energía suministrada a la caldera y, por tanto, utilizarse como base de partida para un cálculo de eficiencia o para determinar el grado de utilización anual.

### Medición de la temperatura de los gases de combustión

La medición de la temperatura de los gases de combustión es un indicador importante del modo de funcionamiento actual de la caldera. Muchas opciones de optimización y el funcionamiento antieconómico de la caldera o el ensuciamiento de las superficies de calefacción pueden identificarse inmediatamente simplemente utilizando esta sencilla medición de bajo coste y registrando y evaluando continuamente la temperatura de los gases de combustión.





 **BOSCH**



HUBAK 1  
HUBAK 2



**BOS**





## 3 Componentes

### 3.1 Combustión y calefacción

El objetivo del sistema de combustión es convertir completamente el carbono, el hidrógeno y posiblemente el azufre del combustible en  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{SO}_2$ . Para que la combustión sea lo más limpia posible, debe existir en la cámara de combustión la proporción correcta de mezcla de combustible y aire de combustión en el momento y lugar adecuados.

Para ello, en las calderas piro-tubulares se utiliza casi exclusivamente la combustión presurizada. Esto significa que el ventilador del aire de combustión debe proporcionar la presión positiva necesaria para vencer la resistencia de  $5 \dots \leq 50$  mbar causada por la caldera y, si está instalado, el intercambiador de calor situado aguas abajo. Por lo tanto, siempre existe una ligera presión positiva en la cámara de combustión.

→ Información técnica TI030: requisitos para un sistema de quemadores in situ

#### 3.1.1 Combustibles

El gas natural y el fuelóleo siguen siendo los combustibles más utilizados. En función del modo de funcionamiento de la caldera de vapor, la potencia requerida o los requisitos de nivel de emisiones, cada uno de estos combustibles estándar ofrece distintas ventajas y es adecuado para diferentes aplicaciones.

→ Planificación – Capítulo 4.3: Criterios de selección entre fuelóleo y gas natural, página 56

La combinación correcta de combustible, equipo de combustión y cámara de combustión es especialmente decisiva para conseguir una combustión lo más limpia posible.

Además de los combustibles estándar, en las calderas piro-tubulares también pueden utilizarse distintos combustibles gaseosos y líquidos. Dependiendo del combustible, esto es fácil de implementar o puede requerir un gran esfuerzo. En cualquier caso, el uso de estos combustibles debe estudiarse detenidamente en la fase de proyecto, ya que, además de una mayor inversión, a veces es necesario un control y un mantenimiento más estrictos durante el funcionamiento.

→ Planificación – Capítulo 4.4: Otros combustibles, página 57

Ejemplos de combustibles especiales líquidos:

- Biodiésel
- Grasa animal
- Aceite de canola
- Aceite de soja
- Aceite de palma/grasa

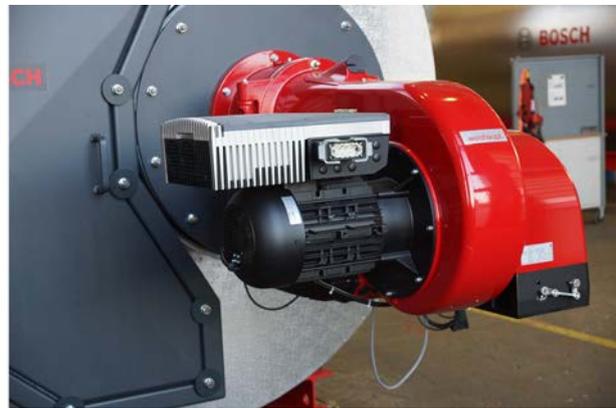
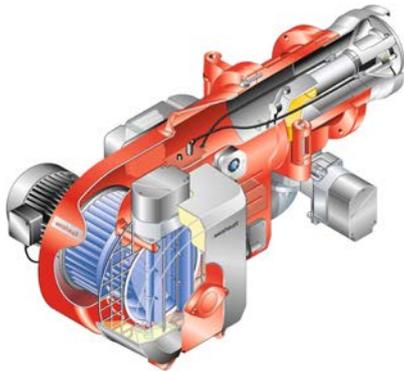
Ejemplos de combustibles especiales gaseosos:

- Biogás
- Biogás natural
- Gas de aguas residuales
- Gas procedente de la gasificación de biomasa
- Gases naturales enriquecidos con hidrógeno

La combustión de estos combustibles puede adoptar la forma de combustión de combustible auxiliar individual, por ejemplo, cuando se utiliza un quemador de doble combustible con gas natural y un combustible especial líquido, o como combustión proporcional, por ejemplo, gas natural con biogás.

### 3.1.2 Variantes del ventilador de los sistemas de combustión

#### Quemador monobloque



**Fig. 48** Representación en sección de un quemador monobloque (Weishaupt)

Los sistemas de combustión en los que el ventilador del aire de combustión está integrado directamente en la carcasa del quemador se denominan quemadores monobloque o de chorro a presión. Este sistema de quemador es adecuado para fuelóleo, combustibles gaseosos y también como sistema combinado en el que es posible cambiar directamente entre la combustión de gas y la de gasóleo. La ventaja más evidente de los quemadores monobloque es su compacidad y, por tanto, su diseño favorable, y también que todos los sistemas del sistema de combustión pueden montarse directamente en la caldera ahorrando espacio. Los quemadores monobloque pueden utilizarse hasta una potencia de combustión de unos 10 MW. Sin embargo, no son adecuados para su uso con un sistema de precalentamiento del aire.



## Quemador duobloque



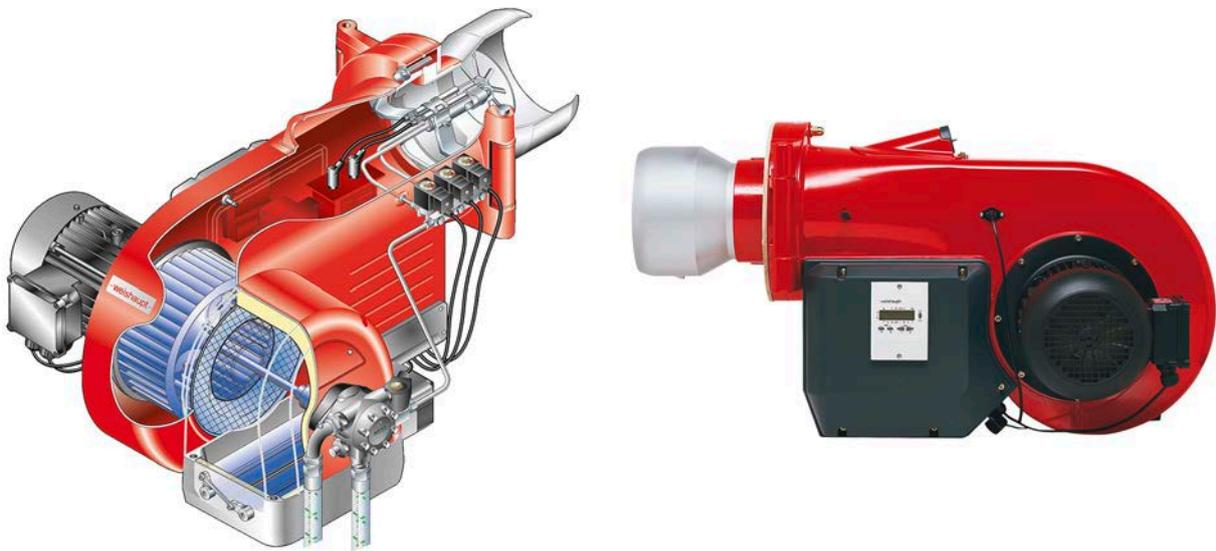
**Fig. 49** Quemador duobloque con ventilador en la corona de la caldera y conductos de aire de combustión (Saacke)

El término quemador duobloque se utiliza para describir los quemadores cuyo ventilador de aire de combustión (que se muestra montado en la caldera) y unidad de combustión están instalados por separado. El ventilador de aire de combustión y el quemador están conectados por un conducto de aire de combustión. Los quemadores duobloque se utilizan especialmente para grandes potencias de combustión y cuando se utiliza el precalentamiento del aire.

### 3.1.3 Sistemas de combustión de combustibles líquidos

A continuación se describen los términos más importantes y las características distintivas de los sistemas de combustión y los equipos necesarios.

#### Atomizador de presión



**Fig. 50** Imagen y representación seccional de un quemador de petróleo (Weishaupt)

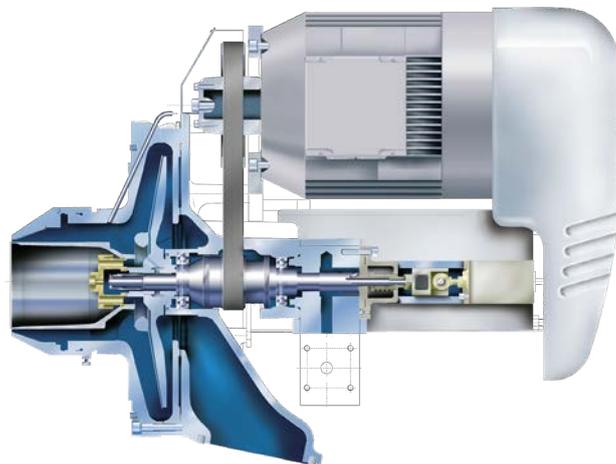
Con la atomización presurizada, el aceite es guiado a través de una boquilla y descargado como una fina pulverización en la cámara de combustión. Las presiones de precarga en la entrada de aceite deben ser de aproximadamente 6 ... 30 bar. Cuando el chorro de aceite sale de la tobera, se forman finas gotas de aceite con una gran sección transversal de reacción. El requisito previo para ello es que la viscosidad del combustible esté dentro del intervalo de 5 ... 8 mm<sup>2</sup>/s. Si este no es el caso a temperatura ambiente, el gasóleo debe precalentarse.

El quemador puede controlarse de diferentes maneras. En los quemadores escalonados, se instalan varias boquillas en el cabezal del quemador. En función de la potencia requerida, las boquillas se conectan o desconectan activando electroválvulas. Existen quemadores con hasta tres boquillas.

Los quemadores atomizadores de retorno se utilizan para poder regular la potencia de forma continua. Para ello una válvula en el retorno del fuelóleo regula la cantidad de combustible que entra en la cámara de combustión.

Esta válvula se activa en combinación con la posición de la compuerta de aire de combustión.

### Atomizador rotativo



**Fig. 51** Vista en sección de un quemador atomizador rotativo (Saacke)

El combustible líquido se introduce a baja presión en un atomizador de copa cónica a través de un eje hueco que gira a gran velocidad. La película de aceite que se forma en ésta migra hacia el borde de la copa que se abre hacia la cámara de combustión. Debido a la fuerza centrífuga, la película de aceite del borde de la copa se desprende y forma finas gotas de aceite que se lanzan a la cámara de combustión con un movimiento giratorio.

Una parte del aire de combustión es conducida al interior de la copa y el resto fluye hacia un espacio anular alrededor de la copa que normalmente tiene un movimiento de remolino opuesto. La admisión y distribución del aire de combustión afecta al aspecto de la llama. El resultado es una mezcla intensiva del aceite con el aire de combustión.

Una ventaja significativa del atomizador rotativo en comparación con el atomizador a presión es que depende menos de las características de viscosidad del combustible. Esto significa que también se pueden quemar de forma fiable combustibles de calidad variable. La rotación de la copa también puede controlarse para garantizar una combustión limpia sin formación de CO ni hollín.

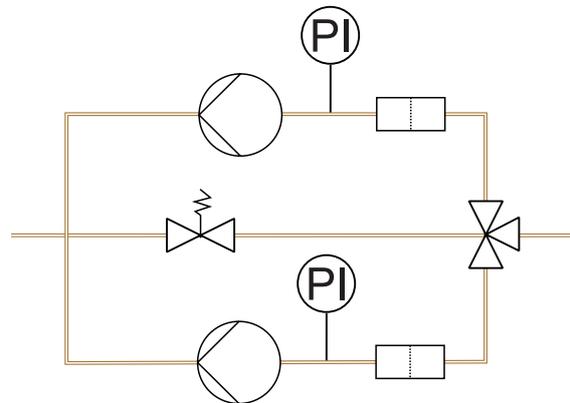


- 9** Control de la llama: desconecta el sistema de combustión si la combustión en la cámara de combustión no es estable tras un intervalo de tiempo de arranque
- 10** Ventilador: suministro de aire de combustión
- 11** Dispositivo de seguridad de deficiencia de aire: apaga el sistema de combustión si la presión de suministro del ventilador de aire de combustión es baja
- 12** Compuerta de aire: controla la relación combustible/aire
- 13** Unidad de control del quemador/cadena de seguridad
- 14** Derivación del gasóleo

### Suministro de aceite

- 15** Módulo de suministro de aceite OSM
- 16** Módulo de circulación de aceite OCM
- 17** Módulo de regulación de la presión del aceite ORM
- 18** Línea de anillo de aceite

### Módulo de suministro de aceite OSM



**Fig. 53** Módulo de suministro de aceite

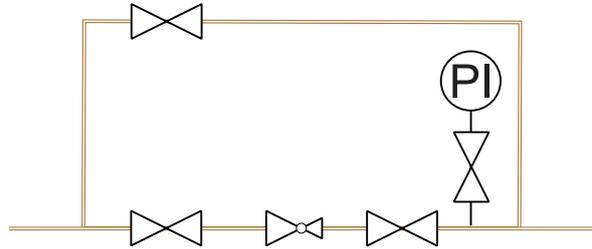
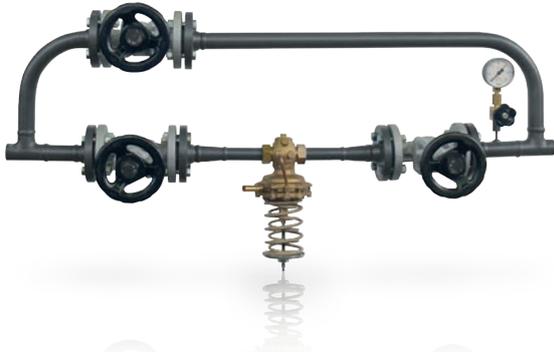
### PI Manómetro

El módulo de suministro de aceite bombea el combustible desde el depósito de almacenamiento de aceite que está instalado fuera de la sala de calderas a través de la línea de anillo de aceite hasta los módulos individuales de circulación de aceite que abastecen individualmente a cada quemador de aceite.

Está premontado como estación simple o doble con reserva del 100 % para garantizar la seguridad del suministro, también en caso de cambio del filtro de aceite, con todas las válvulas en un cárter de aceite para facilitar la instalación en la línea anular.



### Módulo de regulación de la presión del aceite ORM

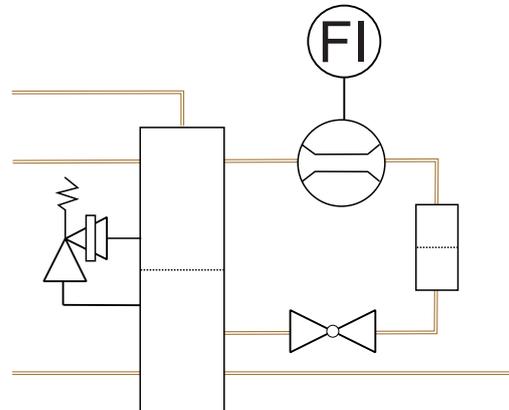


**Fig. 54** Módulo de regulación de la presión del aceite

#### PI Manómetro

La finalidad del módulo de regulación de la presión de aceite es establecer una presión de aceite constante en el flujo de la línea del anillo de aceite. Consta de un regulador de presión del aceite, válvulas de cierre aguas arriba y aguas abajo que permiten retirar el regulador de presión del aceite, un indicador de presión (**PI**) y una válvula de derivación. Se integra siempre aguas abajo del último ramal que alimenta el quemador.

### Módulo de circulación de aceite OCM



**Fig. 55** Módulo de circulación de aceite

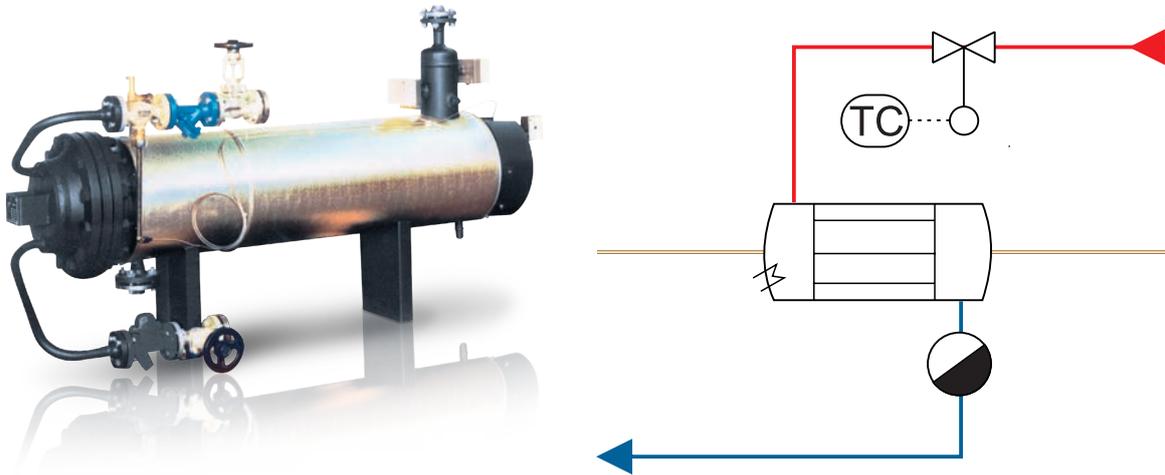
#### FI Válvula de filtro

El módulo de circulación de aceite prepara los combustibles líquidos mediante filtración y separación de aire y mide el caudal de aceite. Está diseñado para quemadores de chorro a presión de fuelóleo ligero y pesado equipados con sistema atomizador de flujo de retorno y se instala como unidad lista para usar que incluye carcasa para cada quemador en las líneas anulares con una presión de precarga de  $\geq 1.5$  bar.

El módulo contiene un depósito de aceite con dos cámaras que suministra aceite directamente al quemador y recibe la cantidad de retorno del quemador. Las tuberías pueden conectarse directamente a las mangueras de aceite del quemador.

Incluye una válvula de filtro (**FI**), un caudalímetro de aceite, válvulas de cierre, una válvula de seguridad de sobrepresión, una válvula de cierre de ventilación y un tapón de drenaje. En caso de funcionamiento con fuelóleo pesado, también se instala aislamiento bajo el revestimiento metálico.

### Módulo de precalentamiento de aceite OPM



**Fig. 56** Módulo de precalentamiento de aceite

#### **TC** Válvula de control de temperatura

Cuando se utilizan aceites medios y pesados como combustible, deben precalentarse porque a temperatura ambiente no tienen las características de fluidez necesarias para la atomización. El aceite debe precalentarse para reducir la viscosidad. Dependiendo de la marca del quemador y del combustible, el calentamiento hasta una temperatura de 100 ... 180 °C para garantizar una combustión fiable.

El combustible se calienta mediante un intercambiador de calor con haz de tubos extensible que puede funcionar con vapor o con una combinación de calentamiento por vapor y calentador eléctrico. Debe garantizarse que todas las tuberías y válvulas dispongan también de calefacción de trazado. En la puesta en marcha, el aceite se calienta inicialmente con electricidad y, durante el funcionamiento continuo, se calienta con vapor hasta alcanzar una temperatura constante a través de la válvula de control de temperatura (**TC**). El módulo está premontado y listo para su uso, incluido el control de calefacción, el aislamiento térmico y todas las válvulas.



### 3.1.4 Sistemas de combustión de combustibles gaseosos

Hoy en día, el gas natural está disponible en la mayoría de los lugares y suele costar menos que el aceite. La cuota de mercado de los sistemas de combustión de gas solo ha aumentado en los últimos años.

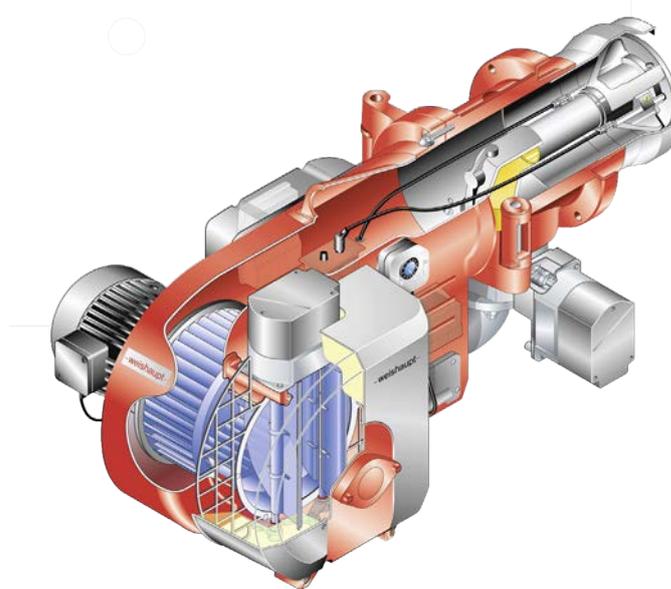
→ Planificación – Capítulo 4.3: Criterios de selección entre fuelóleo y gas natural, página 56

Además de la ventaja económica, utilizar gas como combustible tiene otras ventajas:

- Sin almacenamiento de combustible
- Menos suciedad en las superficies de calefacción
- Menos propenso a averías
- Menos emisiones de  $\text{NO}_x$  y  $\text{CO}_2$
- Uso más sencillo de la tecnología de condensación

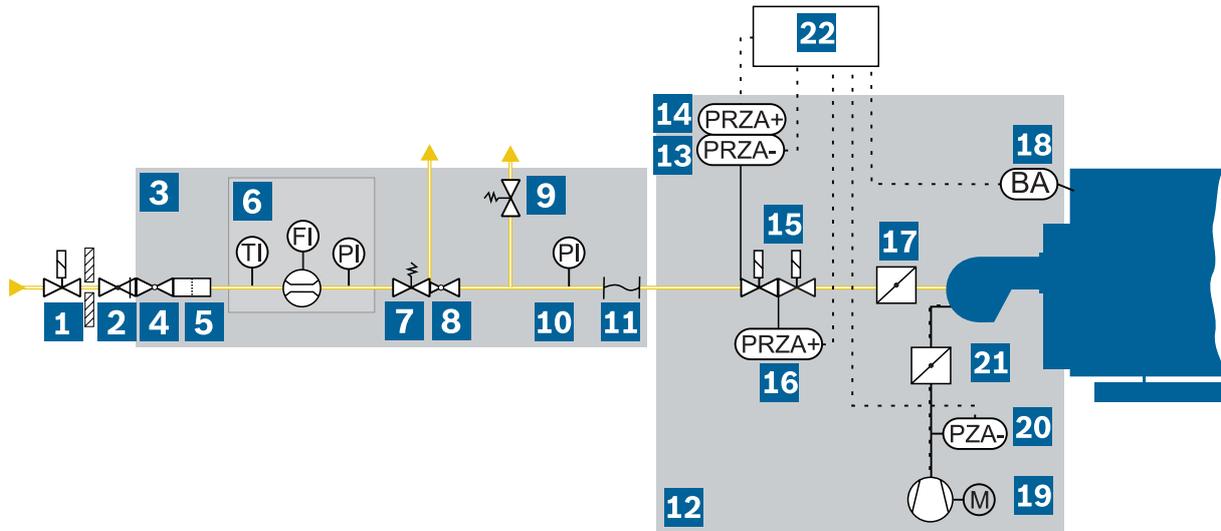


**Fig. 57** Quemador con diseño monobloque (Dreizler)



**Fig. 58** Representación seccional de un quemador de gas (Weishaupt)

## Suministro de gas



**Fig. 59** Ejemplo de representación esquemática de la combustión de gas (alimentación a alta presión)

## Suministro de gas

<b>BA</b> Control de llama	<b>PRZA-</b> Limitador de presión mínima de gas
<b>FI</b> Indicador de caudal	<b>PRZA+</b> Limitador de presión máxima de gas
<b>PI</b> Indicador de presión (manómetro)	<b>TI</b> Indicador de temperatura
<b>PZA-</b> Dispositivo de seguridad contra la falta de aire	

- 1** Válvula de cierre de seguridad: cierra el suministro de gas en caso de avería y parada de emergencia (situada fuera de la sala de instalación de la caldera).
- 2** Válvula de corte térmico: corta el suministro de gas en caso de incendio en la sala de calderas
- 3** Módulo de regulación de gas
- 4** Válvula de cierre: para el cierre manual
- 5** Filtro de gas: protege las partes sensibles de la contaminación
- 6** Módulo contador de gas: contador de gas con medición de temperatura y presión para convertir cantidades de m<sup>3</sup>/h de funcionamiento a m<sup>3</sup>/h estándar
- 7** Válvula de cierre de seguridad: bloquea el suministro en caso de aumento de la presión del gas
- 8** Regulador de presión de gas: garantiza una presión de gas uniforme para la combustión
- 9** Válvula de seguridad: corta el suministro de gas en caso de que se produzca una presión positiva inaceptable después del regulador de presión de gas
- 10** Indicador de presión (**PI**)
- 11** Junta de dilatación: compensa la dilatación de las tuberías

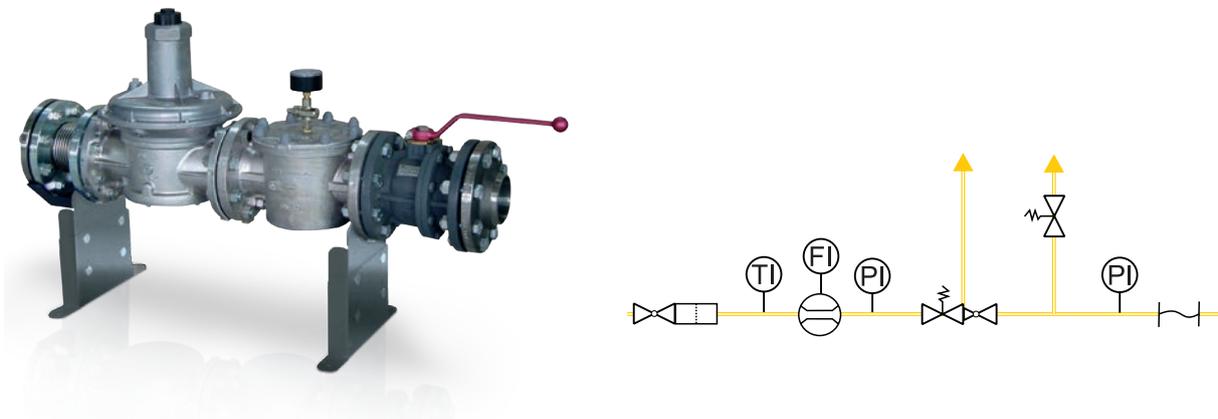
## Equipos de combustión

- 12** Quemador
- 13** Limitador de presión mín. gas (**PRZA-**): desconecta el sistema si la presión del gas es demasiado baja.
- 14** Limitador de presión máx. gas (**PRZA+**): desconecta el sistema si la presión del gas es demasiado alta.
- 15** Doble electroválvula: doble corte del suministro de gas cuando el quemador no está funcionando
- 16** Prueba de estanqueidad (**PRZA+**): comprueba la estanqueidad de las electroválvulas
- 17** Compuerta de regulación de gas: controla el volumen de gas



- 18** Control de llama (**BA**): desconecta el sistema de combustión si la combustión en la cámara de combustión no es estable tras un intervalo de tiempo de arranque
- 19** Ventilador: suministro de aire de combustión
- 20** Dispositivo de seguridad de insuficiencia de aire (**PZA-**): desconecta el sistema de combustión si la presión de suministro del ventilador de aire de combustión es baja
- 21** Compuerta de aire: controla la relación combustible/aire
- 22** Unidad de control del quemador/cadena de seguridad

### Módulo de regulación de gas GRM



**Fig. 60** Módulo de regulación de gas

- FI** Indicador de caudal
- PI** Indicador de presión (manómetro)
- TI** Indicador de temperatura

El módulo de regulación de gas contiene todos los equipos de control y seguridad necesarios para una combustión segura y sin fallos. En particular, el suministro de gas y aire se ajusta mediante un control integrado electrónico o neumático de modo que en todos los puntos de carga exista la relación correcta de combustible/aire para una combustión completa, segura y eficiente en la cámara de combustión.

El regulador de presión de gas garantiza una presión de gas uniforme antes del quemador, sin importar las variaciones de las presiones de precarga. Si se modificara la presión del gas, cambiaría la relación gas/aire en el quemador y se produciría una llama inestable o una combustión que conduciría a la acumulación de hollín y a la formación de CO. Si existe la posibilidad de que la presión de gas aguas arriba controlada supere la presión de operación admisible de los componentes del tren de gas, deberá instalarse una válvula de cierre de seguridad y una válvula de seguridad antes de la unidad de control.

Los presostatos controlan la presión de gas mínima y máxima admisible si el regulador de presión de gas indica un defecto. Durante los tiempos de parada o de ventilación previa, el gas no debe entrar en la cámara de combustión, ya que de lo contrario podría producirse un encendido forzado. Por ello, las electroválvulas del tren de gas deben cerrarse de forma fiable. Por razones de seguridad, las electroválvulas de gas están configuradas de forma redundante y el programa de secuencia del quemador comprueba antes de cada arranque del quemador si las válvulas están bien cerradas (comprobación de estanqueidad del gas).

### 3.1.5 Calefacción por gas residual

El calor de los gases de combustión de procesos anteriores, como la cogeneración de calor y electricidad a partir de módulos de cogeneración o turbinas de gas, la fabricación industrial y los procesos de producción en la industria metalúrgica o el aprovechamiento de la energía térmica de los residuos, es adecuado para generar vapor en calderas pirotubulares.

→ Eficiencia – Capítulo 5.1: Cogeneración, página 303

La posible producción de vapor a partir de los gases de combustión depende de tres criterios:

- **Nivel de temperatura de los gases de combustión disponibles**  
Cuanto mayor sea el nivel de temperatura de los gases de combustión, mayor será la producción de vapor alcanzable. El nivel de temperatura puede llegar a unos 300 °C con microturbinas de gas, 360 ... 550 °C con gases de combustión de motores o 1.000 °C con procesos industriales como fundición o forja de herramientas o a partir de la utilización de energía térmica.
- **Volumen de gases de combustión y duración de la disponibilidad de gases de combustión**  
Debe tenerse en cuenta si los gases de combustión estarán disponibles de forma continua o sólo en determinados momentos, al igual que la cantidad de gases de combustión. Por ejemplo, cuando se utiliza la producción combinada de calor y electricidad con una turbina de gas, se dispone de hasta 5 veces más gases de combustión que los producidos por un motor de combustión interna con la misma potencia eléctrica, debido a la gran cantidad de aire sobrante durante la combustión.
- **Nivel de presión al que debe estar disponible el vapor**  
Cuanto mayor sea el nivel de presión y la temperatura del vapor saturado en la caldera de vapor, menor será el gradiente de temperatura de los gases de combustión al vapor disponible para la transferencia de calor. Para temperaturas de  $\leq 330$  °C, la presión debería ser idealmente  $< 5$  bar. Con temperaturas más elevadas, puede alcanzarse una mayor presión de vapor en la caldera.

Otros parámetros para la selección de una caldera adecuada son el contenido de azufre, el contenido de sólidos u otras sustancias corrosivas, como el contenido de cloro en los gases de combustión.

En este caso, debido al gran número de posibles variaciones de los gases de combustión, siempre se recomienda una ingeniería detallada en la preparación de un sistema de caldera de vapor de calor residual con el fin de utilizar la energía térmica disponible de la manera más eficiente posible.



**Fig. 61** Unidad combinada de calor y electricidad con caldera de calor residual de 4 pasos



### 3.2 Sistema de mantenimiento del calor

Si no se necesita una caldera de vapor durante un breve periodo de tiempo, por ejemplo los fines de semana o cuando no se utiliza por la noche, resulta útil el sistema de mantenimiento del calor. De este modo, la caldera se mantiene caliente a una presión reducida. Al reducir la presión en la caldera y, por tanto, también la temperatura del medio, se reducen las pérdidas de calor durante los periodos de inactividad.

→ Información técnica TI019: sistemas de mantenimiento del calor para calderas de vapor

El sistema de mantenimiento del calor de la caldera tiene esencialmente tres ventajas:

- Disponibilidad rápida de la salida de vapor completa en pocos minutos
- Evita la entrada de oxígeno, lo que previene la corrosión en vacío
- Evita los esfuerzos mecánicos extremadamente elevados que implica el arranque en frío

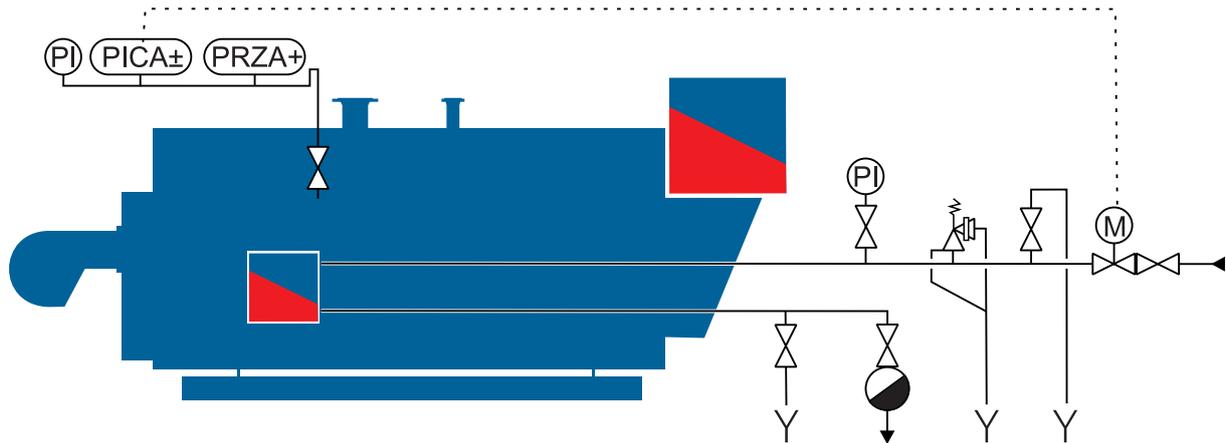


**Fig. 62** Bobina de mantenimiento de calor instalada en la base de la caldera

### Mantenimiento del calor mediante serpentín

En los sistemas de varias calderas o en los sistemas que obtienen vapor saturado de una red de vapor externa para calentar el serpentín de mantenimiento del calor, el sistema de mantenimiento del calor se implementa utilizando un serpentín de calentamiento que está integrado en la base de la caldera. En este caso, el mantenimiento del calor puede controlarse mediante una válvula de control en la entrada de vapor con referencia a una presión de consigna, o también puede no controlarse.

La principal ventaja de esta variante es la distribución uniforme de la temperatura en toda la caldera. Evita de forma fiable la estratificación térmica. Esto reduce significativamente las tensiones térmicas que acompañan al cambio del modo de mantenimiento térmico al modo normal.



**Fig. 63** Mantenimiento del calor mediante serpentín

**PI** Indicador de presión (manómetro)

**PICA±** Transmisor de presión

**PRZA+** Limitador de presión

### Mantenimiento del calor mediante un sistema de combustión

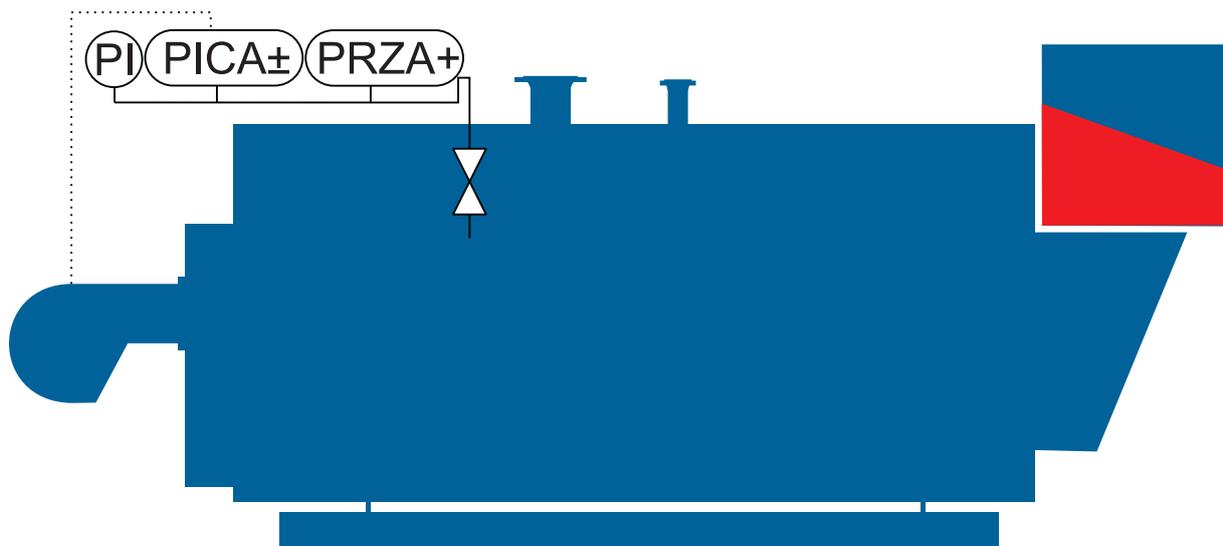
El calor en los sistemas de caldera única o en la caldera principal de un sistema de varias calderas para el que no se dispone de vapor de la red debe mantenerse mediante un sistema de combustión dedicado.

Como la potencia nominal del quemador en este modo de funcionamiento sólo tiene que compensar las pérdidas de calor del sistema, el control de la potencia de combustión se ajusta a la carga mínima. En los sistemas bien aislados, el sistema de combustión sólo se activa una vez cada varias horas. En este caso, la operación de mantenimiento de calor se habilita con frecuencia a aproximadamente el 50 % de la presión media de funcionamiento de la caldera para que pueda ponerse en marcha muy rápidamente.

Sin embargo, el sistema de mantenimiento térmico del quemador tiene inevitablemente todas las desventajas de los ciclos frecuentes del quemador, como las pérdidas por ventilación previa y las cargas mecánicas.

→ Eficiencia – Capítulo 2.2.4: Preventilación, página 273

Además, si el sistema de mantenimiento del calor está activo y no se extrae vapor durante un periodo prolongado (varios días), se produce una estratificación de la temperatura en el interior de la caldera que provoca cargas mecánicas y térmicas adicionales cuando la caldera se vuelve a encender.



**Fig. 64** *Mantenimiento del calor mediante el sistema de combustión*

**PI** Indicador de presión (manómetro)

**PICA±** Transmisor de presión

**PRZA+** Limitador de presión máxima

### 3.3 Economizador

Los economizadores, también denominados intercambiadores de calor de gases de combustión, forman parte del equipamiento estándar de un sistema de calderas, ya que pueden utilizarse más o menos en cualquier sistema.

Aunque los costes de inversión de un economizador integrado son aproximadamente el 7 ... 15 % de una caldera, también aumenta el rendimiento del sistema hasta un 7 % y, por lo tanto, normalmente se amortiza en varios meses de funcionamiento.

→ Eficiencia – Capítulo 2.1: Temperatura o pérdida de gases de combustión, página 261

El flujo de gases de combustión que sale de la caldera de vapor sigue estando a una temperatura de 200 ... 280 °C. El economizador está equipado con intercambiadores de calor de alta eficiencia para la recuperación del calor de los gases de combustión secos que aprovechan este potencial térmico a un nivel de temperatura elevado. El calor extraído de los gases de combustión se utiliza normalmente para calentar el agua de alimentación y, por tanto, mejora el rendimiento de la caldera.

La condensación de los gases de combustión mediante intercambiadores de calor de gases de combustión, el precalentamiento del aire o un enfriador del agua de alimentación pueden utilizarse para mejorar aún más el rendimiento.

→ Eficiencia – Capítulo 2.1.2: Intercambiador de calor de condensación, página 263

→ Eficiencia – Capítulo 2.1.3: Precalentador de aire, página 265

→ Eficiencia – Capítulo 2.1.4: Enfriador de agua de alimentación, página 267

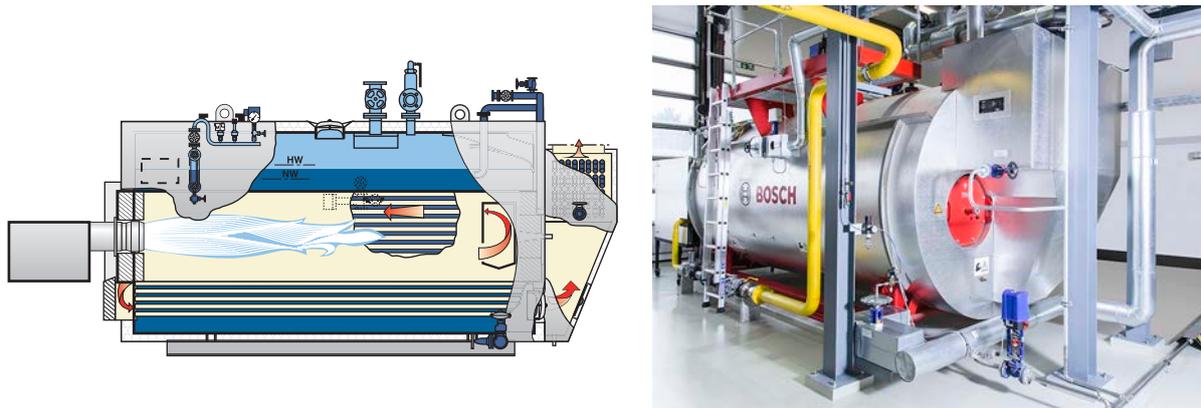
Existen varios tipos de economizador para el modo de funcionamiento específico del sistema de los intercambiadores de calor de gases de combustión, que se optimiza para cada planta individual.



### Economizador integrado

El economizador totalmente integrado y montado directamente en la caldera ofrece ventajas especialmente para los nuevos sistemas de calderas. El haz de intercambiadores de calor especialmente desarrollado con tubos aleteados de tamaño variable y alta eficiencia se instala como componente integral de la caldera en la cámara de recogida de gases de combustión, totalmente aislado y conectado directamente a la caldera por el lado del agua. Los economizadores integrados están disponibles para las series de calderas U-MB, UL-S, ZFR y HRSB.

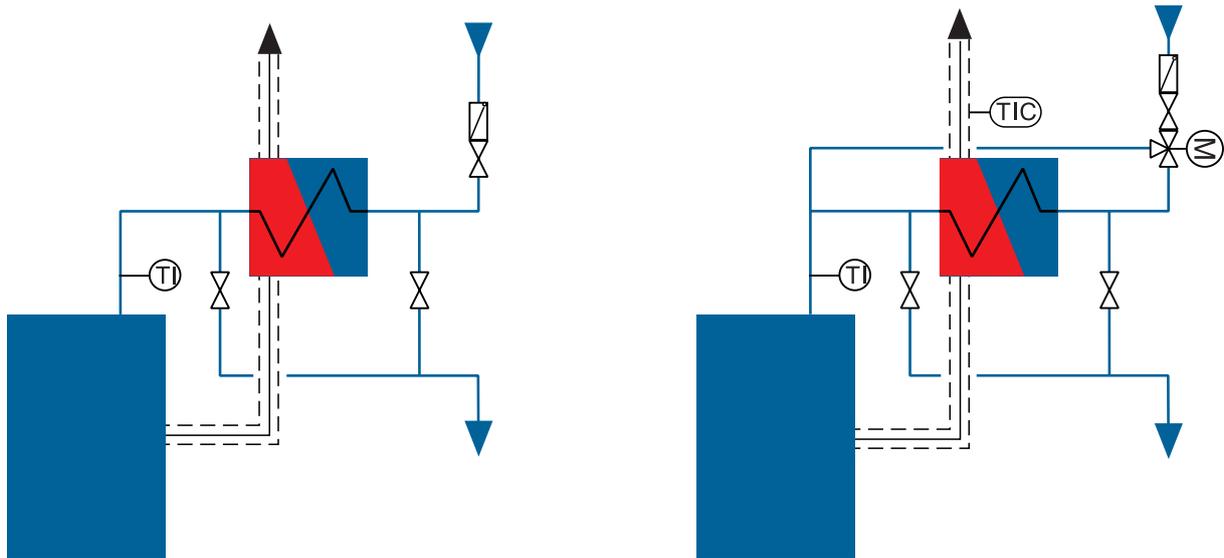
Un economizador integrado tiene importantes ventajas en comparación con una caldera convencional con economizador separado.



**Fig. 65** Economizador integrado en UL-S

#### Beneficios:

- Sistema de tubos aleteados en espiral de alta eficiencia para gas y fuel-oil "EL"
- Integrado en la cámara de gases de combustión de la caldera
- Aumento del rendimiento de hasta un 7 % puntos
- Montado en la planta, entubado y listo para la conexión, probado y aislado térmicamente
- Requiere poco espacio
- No requiere cimentación adicional
- Sin instalación local



**Fig. 66** Economizador sin dispositivo de cierre, no controlado (izquierda) y economizador sin dispositivo de cierre, controlado en el lado del agua (derecha)

- TI** Indicador de temperatura  
**TIC** Regulador de temperatura  
**M** Motor

Con la variante no controlada, todos los gases de combustión circulan siempre por los tubos del intercambiador de calor para garantizar que se recupere la máxima cantidad de energía de los gases de combustión en cada posición de carga. Además de conseguir la mejor eficiencia, esta es también la variante más rentable y, por tanto, la más utilizada.

→ Fig. 66, página 150, izquierda

Para evitar que la temperatura de los gases de combustión a la salida del economizador descienda demasiado, si existe un requisito de temperatura mínima de los gases de combustión para chimeneas de mampostería, por ejemplo, se utiliza la variante con control del lado del agua. En esta variante, una parte o la totalidad del caudal de agua de alimentación se conduce a través de una válvula reguladora de tres vías más allá del economizador hasta que se alcance la temperatura de los gases de combustión preajustada después del economizador.

→ Fig. 66, página 150, derecha



### Economizadores autónomos

Los economizadores autónomos pueden instalarse independientemente de la caldera, lo que permite adaptarlos a sistemas existentes. También se utilizan cuando es necesario derivar el economizador por el lado de los gases de combustión de vez en cuando, como ocurre cuando se utiliza un segundo combustible que contiene azufre (por ejemplo, fuel-oil pesado).

Los gases de combustión entran en la sección inferior del economizador y fluyen a través del intercambiador de calor de la sección superior, donde tiene lugar el proceso de recuperación de calor. El bypass de gases de combustión, incluida la compuerta de gases de combustión motorizada, las tuberías para las conexiones y las válvulas están ya montadas y forman parte, junto con el aislamiento térmico, del volumen de suministro franco fábrica. El economizador independiente está equipado con un tubo especial de doble aleta que facilita la limpieza de las superficies de calefacción y lo hace adecuado para fuelóleo pesado o combustibles con gran tendencia a la suciedad.

El economizador independiente está disponible para todas las series de calderas U-HD, U-ND, U-MB, UL-S, ZFR, HRSB y también para calderas de otros fabricantes.



**Fig. 67** Economizador autónomo en combinación con un sistema de combustión dual (gas/aceite pesado)

### 3.4 Intercambiador de calor de condensación

Con la utilización del poder calorífico, no sólo se extrae parcialmente de los gases de combustión el calor sensible directamente relacionado con la temperatura, sino también el calor de condensación (calor latente) ligado al vapor de agua.

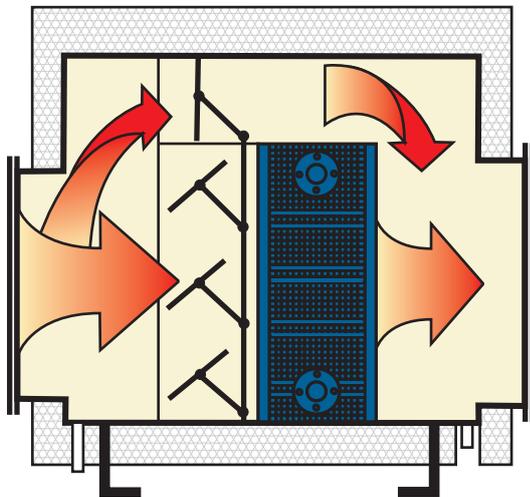
→ Tecnología – Capítulo 1.3: Entalpía, página 110

Esto produce un condensado ácido de los gases de combustión que debe neutralizarse. Por lo tanto, se necesitan materiales resistentes a la corrosión en estos intercambiadores de calor, en los tubos de escape posteriores y en la chimenea.

→ Tecnología – Capítulo 4.2.2: Evacuación de agua - condensado de gases de combustión, página 192

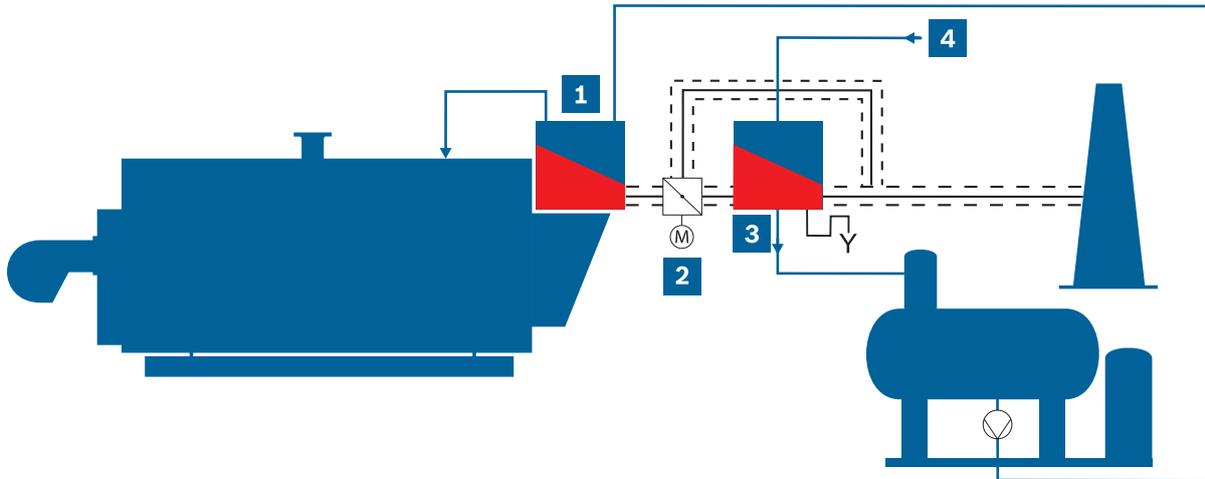
Los intercambiadores de calor de gases de combustión independientes de acero inoxidable se suministran como módulos premontados. Por lo tanto, son adecuados tanto para sistemas nuevos como para reequipar sistemas existentes.

→ Eficiencia – Capítulo 2.1.2: Intercambiador de calor de condensación, página 263



**Fig. 68** Intercambiador de calor de condensación





**Fig. 69** Diagrama de flujo simplificado de un sistema de caldera de vapor con economizador integrado e intercambio de calor de condensación aguas abajo

- |  |   |
|--|---|
| <b>1</b> Economizador integrado (acero)            | <b>3</b> Intercambiador de calor de condensación (acero inoxidable) |
| <b>2</b> Tapa de derivación de gases de combustión | <b>4</b> Agua de reposición   |

→ Informe técnico FB023: aprovechamiento del poder calorífico

### 3.5 Precalentador de aire

El precalentador de aire usa agua caliente de alimentación para precalentar el aire de combustión y obtener un flujo de agua fría en el retorno. Este caudal frío puede utilizarse ahora en un economizador adicional para reducir aún más la temperatura de los gases de combustión. Esto aumenta la eficiencia en un 2 %, o temperaturas de los gases de combustión que son aproximadamente 40 K más bajas.

Como el precalentamiento del aire utiliza el aire de combustión como disipador de calor interno, el aumento de la eficiencia se refleja plenamente en la reducción de los costes anuales de combustible.

→ Eficiencia – Capítulo 2.1.3: Precalentador de aire, página 265

#### Construcción

El sistema de precalentamiento de aire de Bosch consta de:

- Un segundo haz economizador que se entrega montado en la caldera o se suministra suelto con la caldera en función de las dimensiones de transporte
- Un intercambiador de calor para el precalentamiento del aire
- Las válvulas y sensores necesarios para desconectar y controlar el sistema

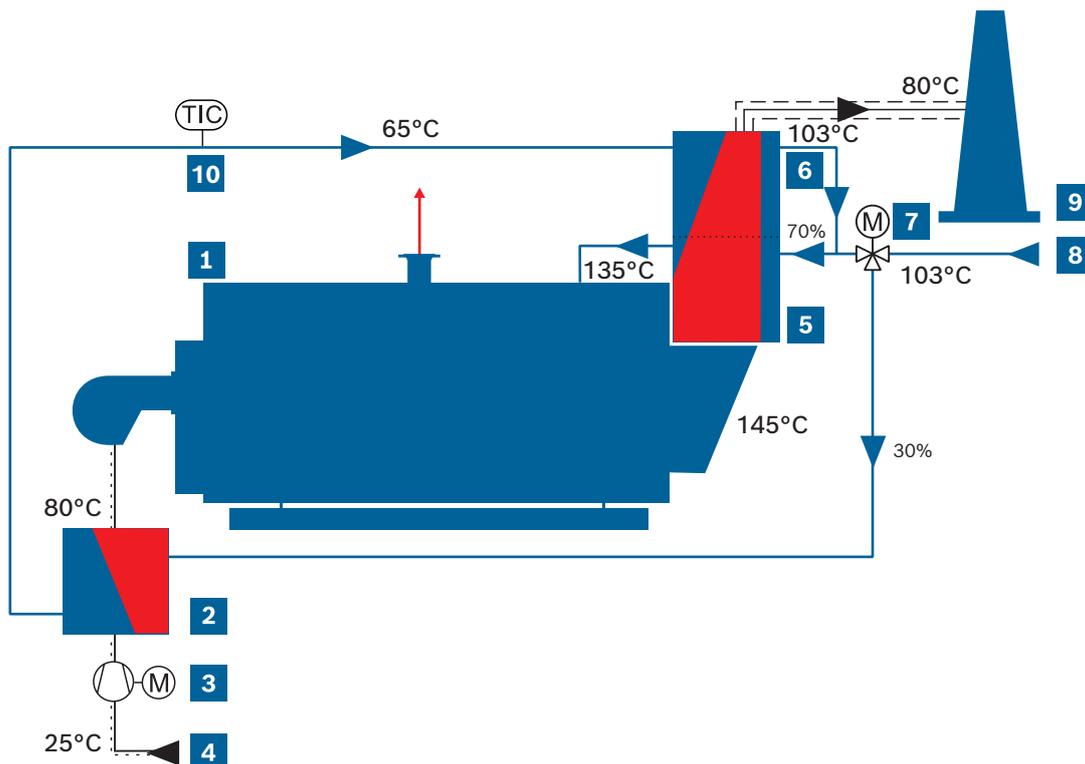


Fig. 70 Sistema de precalentamiento de aire Bosch

- |   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| <b>1</b> Caldera de vapor                               | <b>6</b> Válvula de 3 vías        |
| <b>2</b> Intercambiador de calor, aire de combustión    | <b>7</b> Agua de alimentación     |
| <b>3</b> Ventilador                                     | <b>8</b> Chimenea                 |
| <b>4</b> Aire de combustión                             | <b>9</b> Regulador de temperatura |
| <b>5</b> Intercambiador de calor de gases de combustión |                                   |



### 3.6 Enfriador de agua de alimentación

En el módulo de refrigeración del agua de alimentación (FWM), el agua de alimentación caliente calienta el agua de alimentación fría en un intercambiador de calor. El enfriamiento del agua de alimentación da lugar a una mayor diferencia de temperatura entre el agua y los gases de combustión en el economizador. La mejor transferencia de calor en el economizador reduce la temperatura de descarga de los gases de combustión.

Esto mejora el rendimiento de la combustión hasta un 1.8 %, o hasta un 3 % si la caldera está equipada con un 4º paso.

La temperatura de entrada del agua de alimentación en el economizador se controla durante este proceso, lo que reduce la condensación de los gases de combustión y, por tanto, protege el economizador de acero de la corrosión.

El módulo de control del agua de alimentación es una medida eficaz y fiable para reducir los costes energéticos.

→ Eficiencia – Capítulo 2.1.4: Enfriador de agua de alimentación, página 267

#### Construcción

El módulo de refrigeración de agua de alimentación consta de un intercambiador de calor de placas con aislamiento, válvulas, adaptadores de tuberías y sensores de temperatura, y se suministra sobre un bastidor base listo para su conexión. El dimensionamiento del módulo y la configuración de los parámetros del control se realizan específicamente bajo pedido y se adaptan al modo de funcionamiento del sistema.

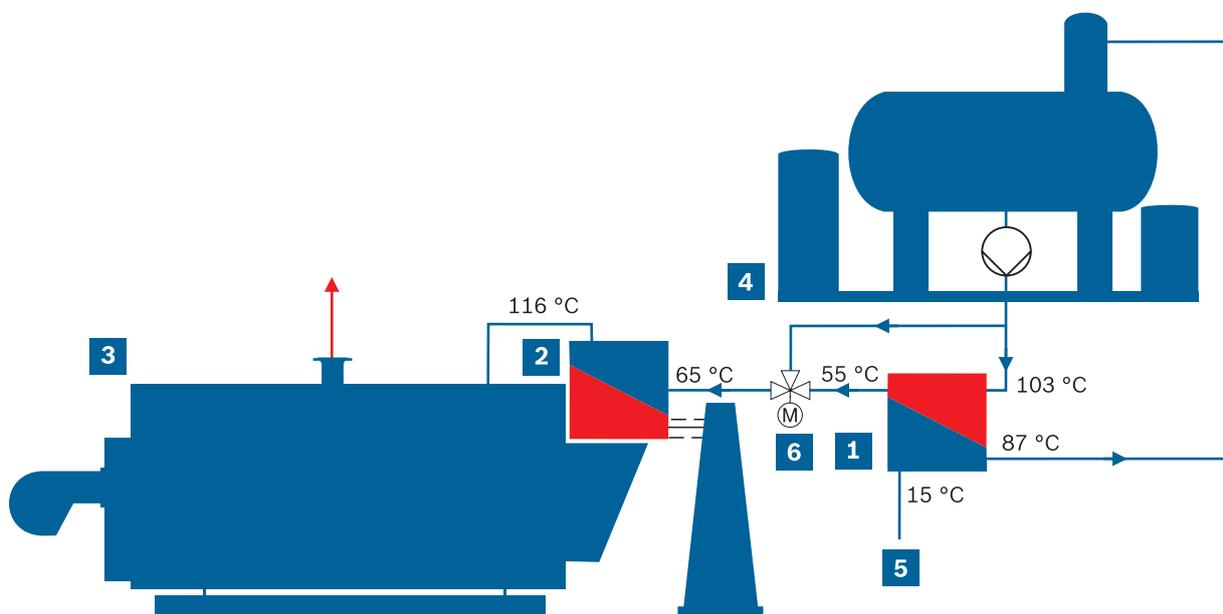


Fig. 71 Integración del enfriador de agua de alimentación en un sistema de calderas

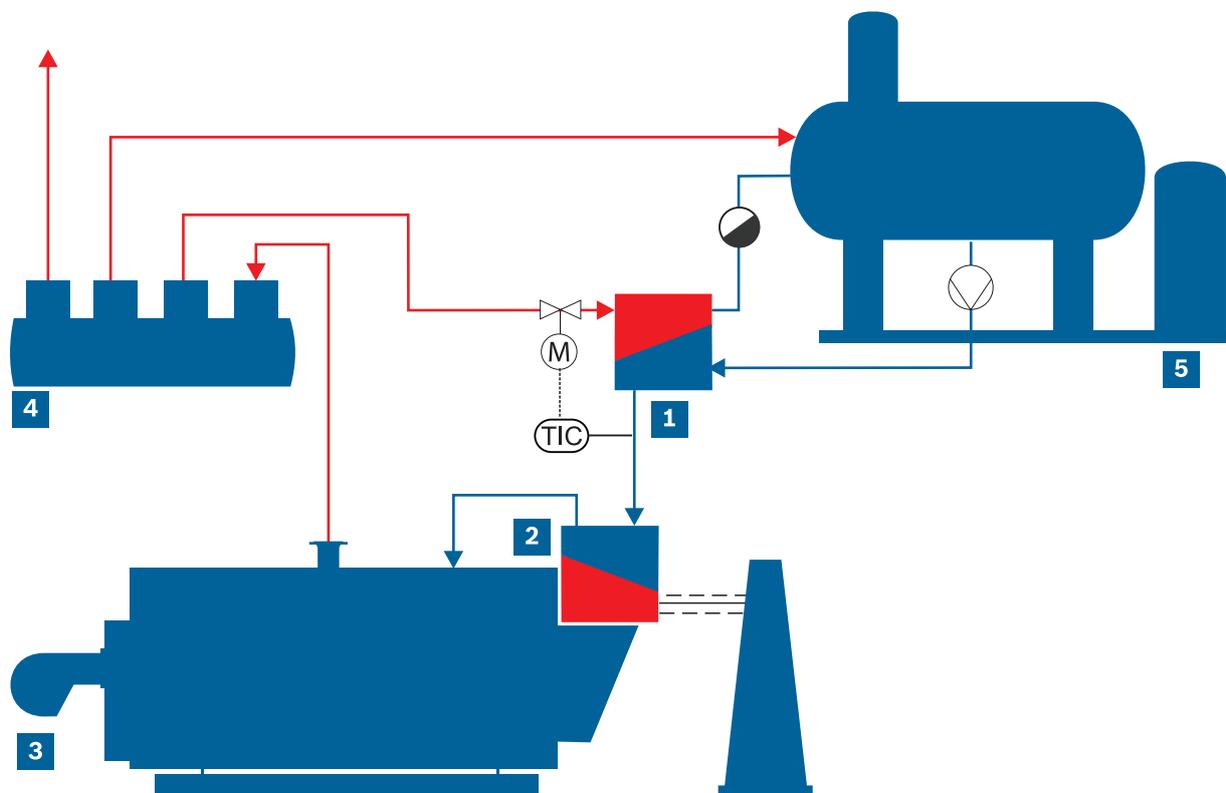
- |   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| <b>1</b> Módulo de refrigeración del agua de alimentación | <b>4</b> Módulo de servicio de agua |
| <b>2</b> Economizador                                     | <b>5</b> Agua de reposición         |
| <b>3</b> Caldera de vapor                                 | <b>6</b> Válvula de 3 vías          |

### 3.7 Precalentador de agua de alimentación

El precalentador del agua de alimentación se utiliza cuando se emplean combustibles que contienen azufre en combinación con un economizador. Para evitar que el ácido sulfúrico se condense en los tubos del economizador, el agua de alimentación se calienta a temperaturas superiores al punto de rocío del ácido tras la desaireación. Se requieren temperaturas de 120 ... 140 °C, dependiendo del contenido de azufre del combustible.

→ Herramientas – Capítulo 3.2: Punto de rocío de los gases de combustión, página 393

El precalentador de agua de alimentación está diseñado como un intercambiador de calor tubular calentado por vapor equipado con los elementos de control, seguridad e indicación necesarios.



**Fig. 72** Esquema simplificado del sistema que muestra la integración de un precalentador de agua de alimentación

- 1** Precalentador de agua de alimentación
- 2** Economizador
- 3** Caldera
- 4** Distribuidor de vapor
- 5** Depósito de agua de alimentación



### 3.8 Sobrecalentador

El sobrecalentador se utiliza para calentar el vapor de agua por encima de su temperatura de evaporación. Este vapor se denomina vapor sobrecalentado o vapor caliente. La temperatura del vapor es superior a la temperatura de saturación.

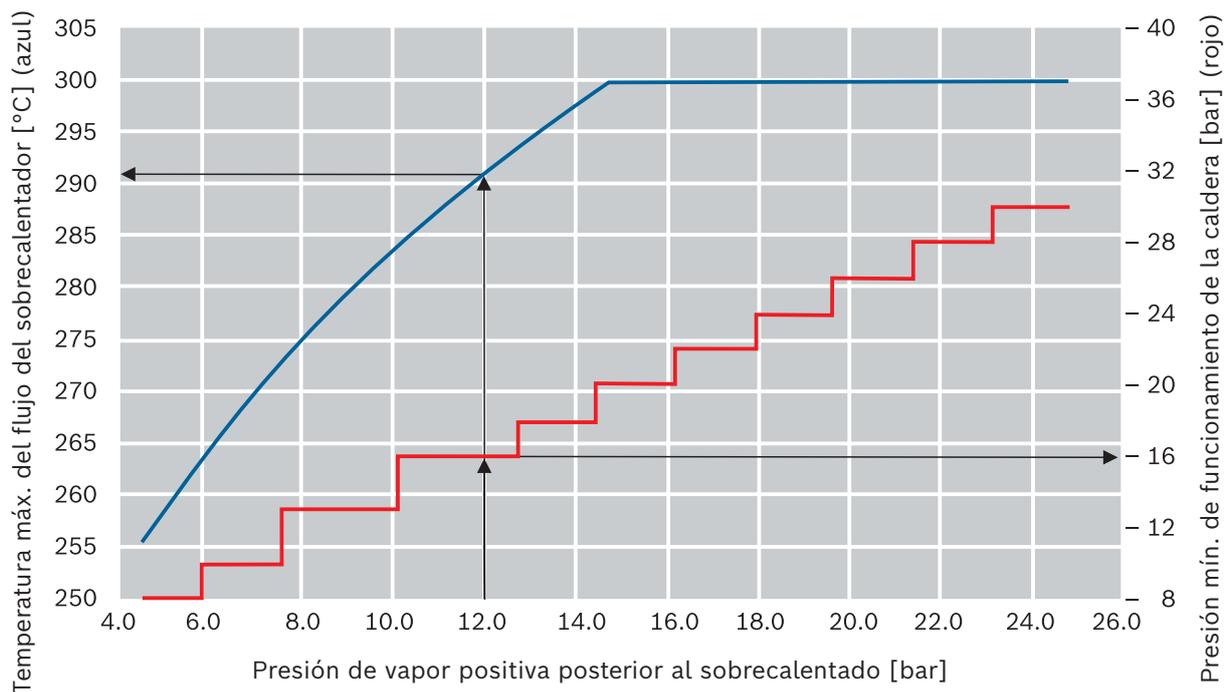
El vapor sobrecalentado se utiliza principalmente en redes de vapor complejas y extensas para accionar máquinas de vapor y turbinas de vapor que generan energía o para la calefacción de centrales eléctricas. En las calderas piro-tubulares, el sobrecalentador se monta en la cámara de inversión delantera, después del primer paso del tubo de humos. Dependiendo de la etapa de presión de la caldera, pueden alcanzarse temperaturas del vapor sobrecalentado de 100 K por encima de la temperatura del vapor saturado y hasta un máximo de 300 °C.

→ Fig. 35, página 104

→ Tecnología – Capítulo 1.1.3: Vapor sobrecalentado, página 105



**Fig. 73** Caldera de doble hogar con sobrecalentador montado en la parte superior



**Fig. 74** Posibles temperaturas del vapor sobrecalentado y la etapa de presión mínima requerida con referencia a la presión de vapor requerida después del sobrecalentador

Ejemplo:

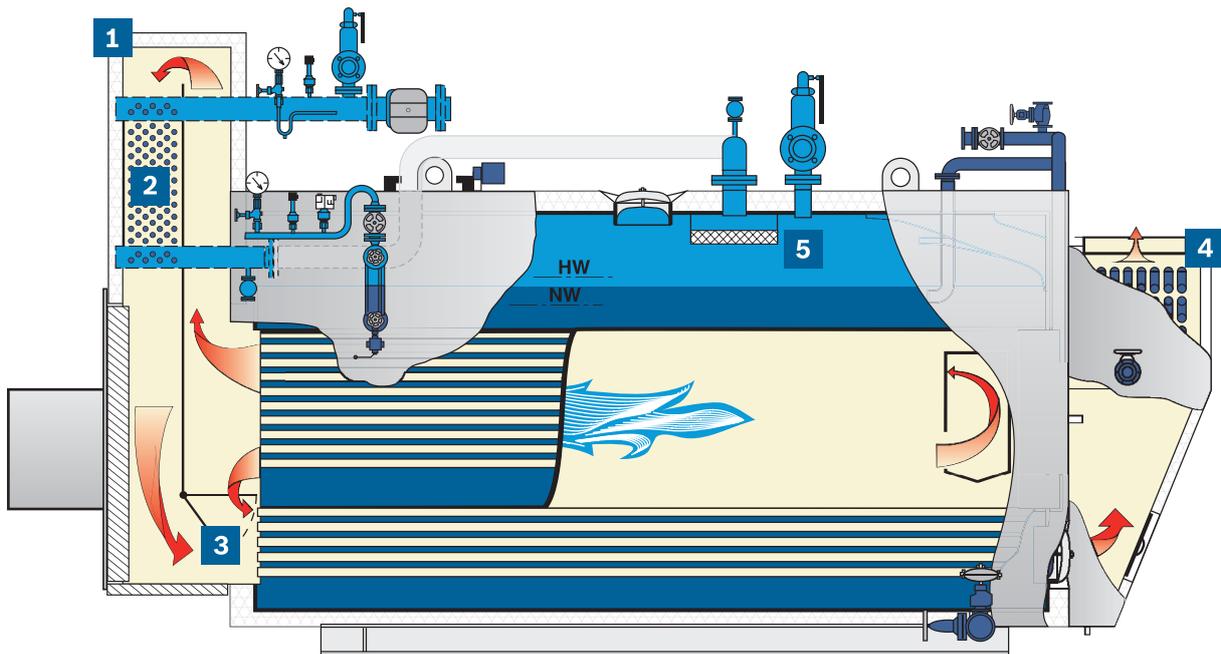
Presión de vapor después del sobrecalentador = 12 bar. Resultado: temperatura máxima posible del vapor sobrecalentado de 291 °C y presión nominal mínima de la caldera de 16 bar.

### Construcción

El módulo del supercalentador está montado en la cámara de inversión delantera. En la cámara de inversión frontal se ha instalado un tabique con una trampilla de control de gases de combustión para derivar los gases de combustión del primer al segundo paso del tubo de humos. De este modo, se produce un funcionamiento totalmente automático que garantiza una temperatura controlada del vapor sobrecalentado en el lado de los gases de combustión. Los sobrecalentadores se diseñan según los requisitos específicos del cliente para alcanzar la temperatura de vapor sobrecalentado en un rango de carga de caldera determinado (por ejemplo, 50 ... 100 %).

La caldera se arranca en seco con la carga más baja. La potencia de combustión se incrementa gradualmente una vez que se produce un flujo parcial de vapor a través del sobrecalentador. El funcionamiento tiene lugar una vez que se ha activado el control de la temperatura del vapor sobrecalentado y de la combustión. Para poder garantizar la temperatura del vapor sobrecalentado y evitar depósitos en el sobrecalentador del lado del agua, se utilizan desnebulizadores para reducir la humedad residual del vapor.

→ Fig. 103, página 192



**Fig. 75** UL-S con supercalentador montado

- 1** Módulo de supercalentador
- 2** Haz de tubos del supercalentador
- 3** Compuerta de regulación de la temperatura del vapor sobrecalentado
- 4** Economizador
- 5** Alimentación de vapor saturado en caldera con antivaho

### 3.9 Bombas de alimentación de la caldera

La tarea de la bomba de alimentación consiste en equilibrar la cantidad de vapor suministrada por la caldera de vapor y también el agua perdida durante la purga de superficie y la purga de fondo con una cantidad adecuada de agua de alimentación. Para ello, el nivel de agua de la caldera de vapor se mantiene constante, permitiendo fluctuaciones dentro de un margen de unos 100 mm. Debido a la normativa que regula el funcionamiento de las calderas de vapor, se aplican requisitos especiales desde el principio en relación con el diseño de las bombas de alimentación de calderas, ya que la insuficiencia de agua en la caldera es una condición de funcionamiento crítica que debe evitarse sin falta.

La norma EN 12953-6 no impone requisitos especiales en relación con el caudal de bombeo y la presión de impulsión siempre que se instalen dos indicadores de agua fiables de un tipo especial que desconecten la calefacción si el nivel de agua baja (LW) de la caldera está por debajo. Además, debe mantenerse una distancia mínima entre los conductos de humos más altos y la marca de agua baja de al menos 50 mm para garantizar que las superficies de calefacción no emerjan como resultado de la reevaporación debida a la energía térmica almacenada en los conductos de humos.

Dado que todas las calderas pirotubulares de Bosch cumplen estas condiciones, no se aplican requisitos especiales a las bombas de alimentación.

Además de las obligaciones derivadas de la normativa, las bombas de alimentación también deben cumplir los requisitos para un funcionamiento económico. Esto incluye mantener el nivel de agua en la caldera lo más constante posible y un caudal uniforme de agua de alimentación a través del economizador existente, de modo que el calor de los gases de combustión también pueda liberarse continuamente al agua de alimentación.

Asimismo, la potencia eléctrica para accionar las bombas debe mantenerse lo más baja posible y las pérdidas por estrangulamiento a través de las válvulas de control deben reducirse al mínimo.

Existen varios diseños de módulos de bomba para satisfacer estos requisitos. Las bombas utilizadas son bombas centrífugas verticales multietapa de alta presión con motor refrigerado por aire totalmente encapsulado. Las bombas con una potencia de accionamiento de hasta 22 kW pueden equiparse con un módulo inversor integrado para el control de la velocidad. Están especialmente diseñadas para su uso en calderas pirotubulares.

#### Mapa característico de la bomba y curvas características del sistema

Una caldera equipada con economizador con  $m_s = 4,000$  kg/h de producción nominal de vapor y  $p_m = 13.3$  bar de presión media de funcionamiento se utiliza como ejemplo y explicación del mapa característico de una bomba de alimentación de caldera de velocidad controlada.

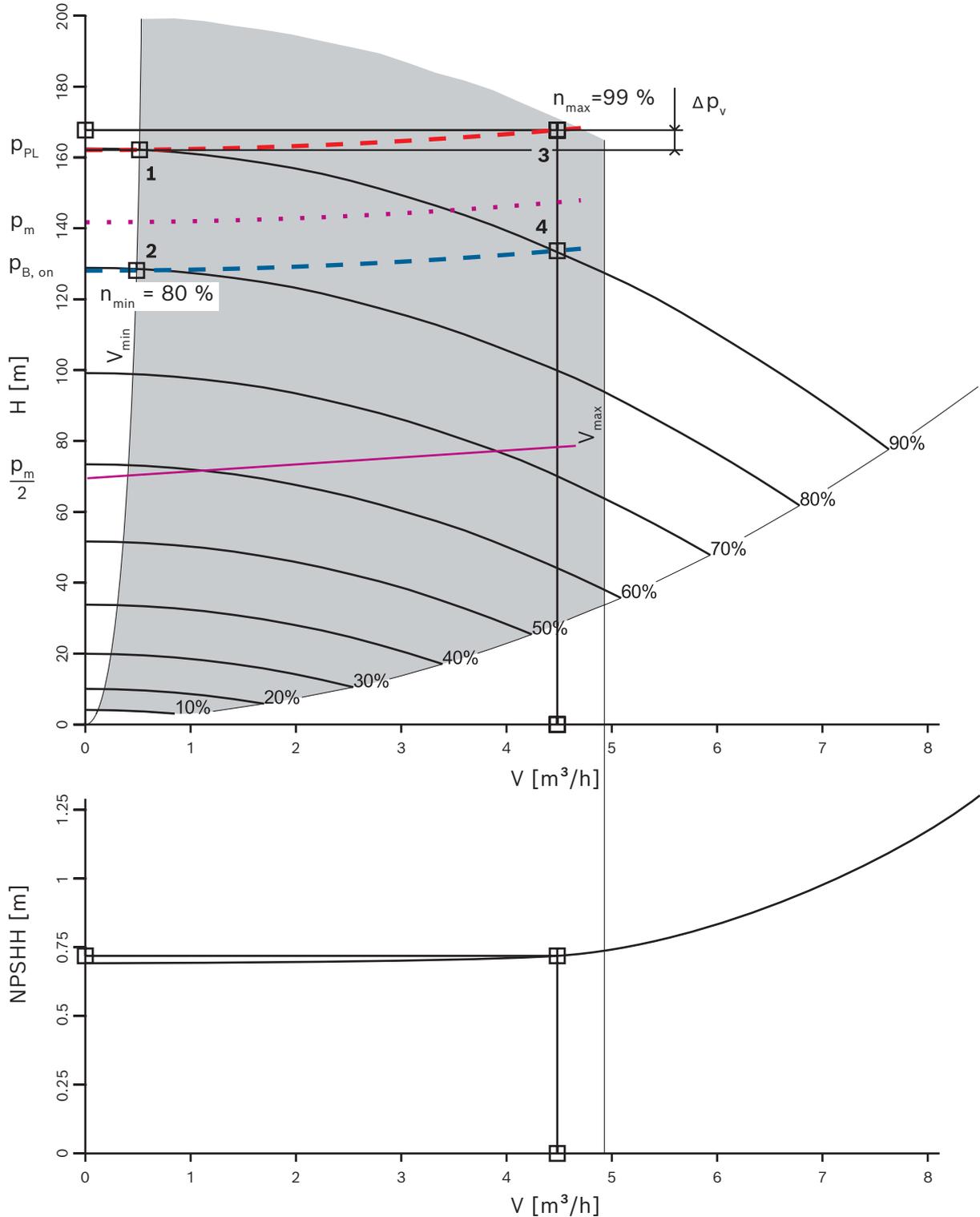
→ Fig. 76, página 161

El rango admisible del mapa característico de la bomba (fondo gris oscuro) viene definido a la izquierda por la curva de caudal mínimo  $V_{min}$ . Ésta se obtiene a partir de la cantidad mínima necesaria para refrigerar la bomba. El mapa característico de la bomba está definido a la derecha por el caudal máximo  $V_{max}$ , en la parte superior por la curva de velocidad al 100 % y en la parte inferior por las alturas mínimas de las curvas de velocidad individuales.

Las cuatro curvas del sistema (líneas de puntos coloreadas) indican la presión estática que debe superar la bomba a distintas presiones de funcionamiento en la caldera y el componente de presión dinámica debido a las pérdidas de presión del caudal a través de las tuberías, las válvulas y el economizador. Como normalmente en la sala de calderas sólo hay que superar tramos cortos de tuberías, unas pocas válvulas y la pequeña resistencia al flujo del economizador, el componente de presión dinámica de la característica del sistema es muy bajo. Con el caudal máximo de esta caldera de  $4.4$  m<sup>3</sup>/h sólo es



$\Delta p_v = 0.53$  bar. En cambio, la componente estática de la presión, definida por la presión existente en la caldera de vapor, es  $p_m = 13.3$  bar. Por tanto, la componente estática supera con creces a la componente dinámica. Esta fluctúa entre la presión mínima de conexión del quemador  $p_{B,on} = 12$  bar y la presión máxima especificada por el limitador de presión  $p_{PL} = 15$  bar.



**Fig. 76** Ejemplo de mapa característico de una bomba de alimentación de caldera de velocidad controlada

### Ahorro de energía

Como se requiere el mismo caudal para la bomba de velocidad controlada y para una bomba de encendido/apagado con válvula de control, el ahorro de energía sólo se consigue gracias a la menor presión de impulsión y no al menor caudal, como ocurre en los sistemas de agua caliente.

Por lo tanto, el ahorro de energía varía en función de la utilización de la capacidad y de la presión de funcionamiento real del sistema:

- En algunos puntos porcentuales con una mayor utilización de la capacidad y un funcionamiento a la presión configurada.
- Hasta un 60 % durante el funcionamiento frecuente con una presión de funcionamiento reducida y una menor utilización de la capacidad.

### Control de velocidad

Debido al predominio de la contrapresión estática, el control de velocidad debe limitar la velocidad máxima y mínima de la bomba en función de la presión de la caldera y, por tanto, mantener el punto de funcionamiento actual dentro del rango del mapa característico de la bomba (zona resaltada en gris).

→ Fig. 76, página 161

Una comparación entre los puntos 1 y 4 muestra lo difícil que es. Mientras que la bomba apenas suministra el caudal mínimo (punto 1) al 90% de la velocidad de la bomba con  $p_{PL} = 15$  bar, ya suministra todo el caudal nominal de agua de alimentación (punto 4) a la misma velocidad con  $p_{(B,on)} = 12.0$  bar.

La característica del sistema para la presión de funcionamiento reducida  $p_{m/2}$  lo demuestra de forma aún más contundente.

### Valor NPSH (altura neta positiva de aspiración)

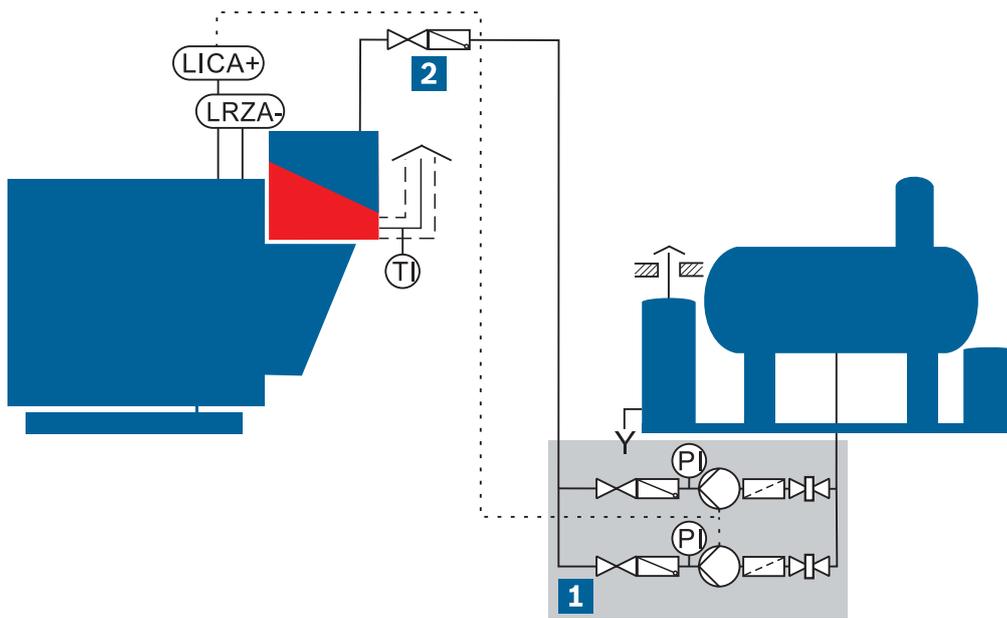
El valor NPSH indica la presión estática mínima en el puerto de aspiración de la bomba a la que no se produce cavitación. Este valor está predefinido por el diseño de la bomba, que depende del caudal y aumenta muy bruscamente con los caudales más altos. Por lo tanto, el rango a la derecha del caudal máximo de 4.9 m<sup>3</sup>/h no puede utilizarse sin riesgo de dañar la bomba debido a la cavitación.

### Módulo de bomba PM

Con el módulo de bomba, la bomba de alimentación de la caldera se monta en un soporte y se suministra de fábrica completamente montada con indicador de presión, válvulas de cierre, válvulas de filtro y válvulas antirretorno. Para garantizar la disponibilidad operativa del sistema de la caldera en caso de avería de la bomba de alimentación, se suelen instalar dos módulos de bomba con conmutación por avería.

### Módulo de bomba con control de velocidad

Las bombas de alimentación también están equipadas con un módulo inversor. Como el control de frecuencia está adaptado al funcionamiento de la caldera, la velocidad del motor de la bomba puede regularse de forma continua. Esto modifica la curva de la bomba, lo que significa que el caudal de la bomba puede adaptarse a las condiciones de funcionamiento actuales de la caldera en lo que respecta a la presión de funcionamiento y el nivel de agua. Esto ahorra energía eléctrica de accionamiento, especialmente cuando la presión en la caldera es reducida y en carga parcial.



**Fig. 77** Esquema de un módulo de bomba con todas las válvulas

- 1** Módulo de control del agua de alimentación
- 2** Conjunto de cierre aguas arriba de la caldera
- PI** Indicador de presión (manómetro)
- TI** Indicador de temperatura
- LICA+** Transmisor de nivel
- LRZA-** Limitador de bajo nivel de agua



**Fig. 78** Módulo de bombeo y módulo doble

#### **Beneficios:**

- Costes de inversión especialmente bajos
- Costes de operación especialmente bajos
- La curva de la bomba puede adaptarse a diferentes presiones de funcionamiento
- Arranque suave y, por tanto, sin picos de presión al conectar y desconectar la bomba
- Menor riesgo de cavitación durante el funcionamiento gracias a los caudales más bajos

#### **A considerar:**

- La relación de control entre  $V_{\min}$  a  $V_{\max}$  ser al menos de 1:4
- Cuando se utilicen economizadores, el rango de control de frecuencia más pequeño de la bomba de alimentación debe cubrir siempre que sea posible el rango de control de carga parcial del quemador. En caso necesario, también puede combinarse una bomba de alimentación de velocidad controlada con una válvula de control del agua de alimentación.

#### **Ejemplo y explicaciones de un mapa característico de una bomba de alimentación de caldera de velocidad controlada**

Se utiliza como ejemplo una bomba de alimentación de caldera de velocidad regulada de una caldera equipada con economizador con  $m_s = 4\ 000$  kg/h de producción nominal de vapor y  $p_m = 13.3$  bar de presión media de funcionamiento.

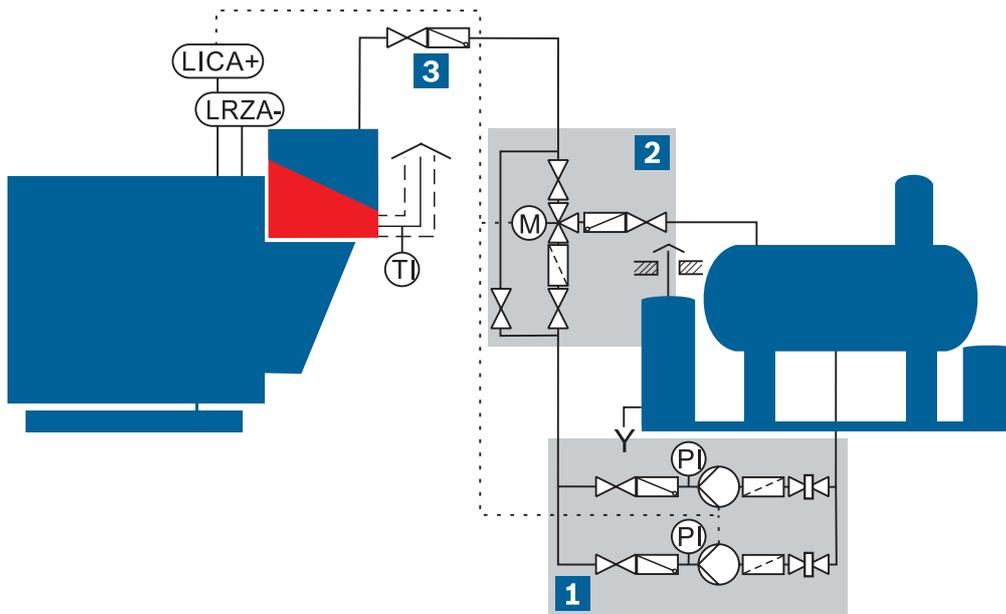
#### **Módulo de bomba con/sin control de velocidad y control de alimentación**

Si no se instala una bomba de alimentación de velocidad controlada, o si la bomba de velocidad controlada no puede cubrir el rango de control necesario, se recomienda un control modulante con el módulo de control de agua de alimentación RM para todas las calderas equipadas con quemadores modulantes e intercambiadores de calor de gases de combustión. El módulo garantiza tiempos de flujo



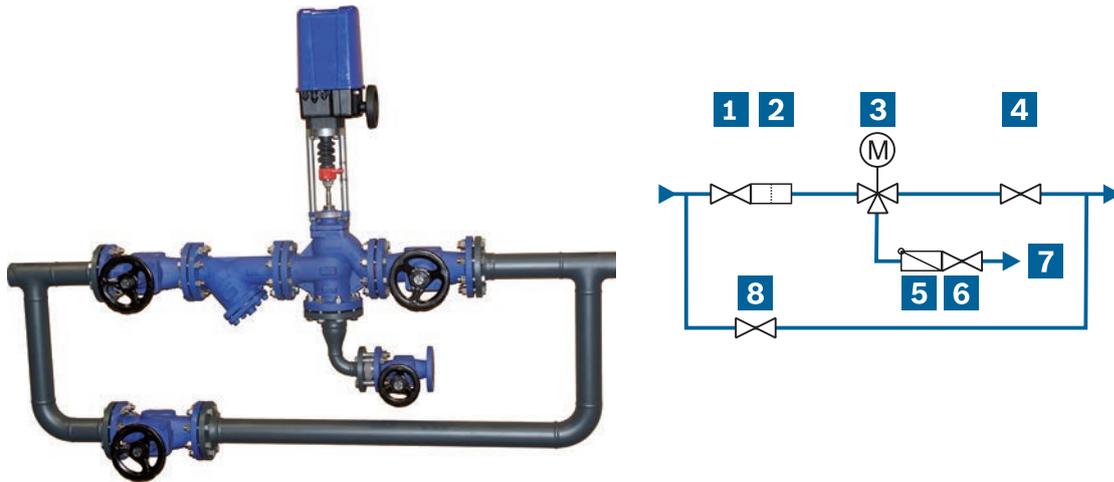
más largos en el intercambiador de calor de gases de combustión y, por tanto, una recuperación óptima del calor de los gases de combustión de la caldera. Al mismo tiempo, también asegura la cantidad mínima necesaria para la refrigeración de la bomba de alimentación a través del módulo de control del agua de alimentación. El módulo premontado se utiliza en un lugar adecuado de la tubería de presión del agua de alimentación.

El módulo de control del agua de alimentación para la alimentación continua de la caldera consta de una válvula de control del agua de alimentación, una unidad de drenaje, un colector de suciedad y un bypass con sus correspondientes válvulas de cierre.



**Fig. 79** Esquema de un módulo de bomba y un módulo de control de agua de alimentación con todas las válvulas

<b>1</b>	Módulo de bombeo	<b>PI</b>	Indicador de presión (manómetro)
<b>2</b>	Conjunto de cierre aguas arriba de la caldera	<b>TI</b>	Indicador de temperatura
<b>3</b>	Módulo de control del agua de alimentación	<b>LICA+</b>	Transmisor de nivel
		<b>LRZA-</b>	Limitador de bajo nivel de agua



**Fig. 80** Módulo de control del agua de alimentación

- |          |  |          |  |
|----------|--|----------|--|
| <b>1</b> | Válvula de cierre  | <b>5</b> | Válvula antirretorno                                   |
| <b>2</b> | Sifón  | <b>6</b> | Válvula de cierre                                      |
| <b>3</b> | Válvula de control del agua de alimentación con derivación de la bomba | <b>7</b> | Bypass de la bomba al depósito de agua de alimentación |
| <b>4</b> | Válvula de cierre  | <b>8</b> | Válvula de cierre de derivación                        |

**Beneficios:**

- Caudal mínimo seguro para la refrigeración de la bomba de alimentación
- Mayor eficiencia del intercambiador de calor de gases de combustión
- Reducción del número de operaciones de conmutación de la bomba
- Nivel constante del agua de la caldera



### 3.10 Control de la caldera

El control de la caldera sigue desempeñando un papel decisivo para garantizar un funcionamiento seguro, fiable y económico.

Por lo tanto, deben cumplirse los requisitos de seguridad de las distintas normativas para la instalación y el funcionamiento seguro de los sistemas de calderas. Sin embargo, además de la seguridad y el funcionamiento fiable, hoy en día también son importantes otros requisitos de gestión de la energía, como el registro de datos y la optimización continua del funcionamiento de la caldera. Además, deben estar disponibles todas las opciones para gestionar la producción desde un sistema de automatización central, ya que el funcionamiento optimizado de una planta en términos de rendimiento económico global sólo es posible mediante la comunicación interna entre los consumidores de vapor y los generadores de vapor.

Las tareas básicas del armario de control son:

- Funciones de seguridad
- Funciones de control
- Mensajes de funcionamiento y avería
- Registro y evaluación de datos
- Interfaz de control
- Mantenimiento por terceros

Desde 2001, Bosch Industriekessel GmbH es el primer fabricante de calderas que utiliza sistemas de control basados en PLC como estándar en las calderas piro-tubulares. El concepto se convirtió en un éxito rotundo en el mercado y, entretanto, se ha convertido en equipamiento estándar.

Los sistemas de control están en continuo desarrollo. En combinación con los controladores lógicos programables, se consigue un alto grado de transparencia y conectividad de los datos de funcionamiento mediante pantallas táctiles con una interfaz gráfica de usuario de manejo intuitivo.

Además del control de la caldera, en un sistema de calderas también deben realizarse una serie de tareas de control adicionales. Estas tareas se tratan junto con la conexión en red de los controles en el capítulo Control del sistema.

→ Tecnología – Capítulo 4.6: Sistema de control SCO, página 206

## Sistema de control



**Fig. 81** Cuadro eléctrico Bosch

Hoy en día, el hardware del campo de los controladores lógicos programables que se ha probado en aplicaciones industriales se utiliza más o menos en todas partes en los sistemas de control más modernos para llevar a cabo las tareas de control necesarias en la caldera y en la sala de calderas.

Los dispositivos realizan todas las funciones de control de la caldera o del sistema de calderas y pueden comunicarse con otros controles (por ejemplo, sistemas de gestión de quemadores, controles independientes de módulos de la sala de calderas y sistemas de control de procesos de nivel superior) a través de sistemas de bus o redes. Debido a las elevadas exigencias en términos de fiabilidad, la cadena de seguridad se implementa normalmente utilizando la tecnología convencional de contactores y relés.

Todo el software de control se almacena en una tarjeta de memoria micro. Esto evita tener que utilizar baterías de reserva o EPROM para protegerse de los fallos de tensión. Los dispositivos son compactos, modulares y se atornillan a un carril perfilado para formar un conjunto robusto que cumple la normativa CEM. En función de las necesidades, pueden combinarse dispositivos opcionales como entradas y salidas adicionales o un procesador de comunicaciones, como para Profibus DP, para la interconexión con el sistema de automatización central. Existen opciones adicionales, como una red Ethernet industrial para la conexión de varios módulos de control o la preparación para el acceso remoto MEC Remote.

→ Productos – Capítulo 6.6: MEC Remote, página 374

→ Productos – Capítulo 6.4: MEC Optimize, página 371

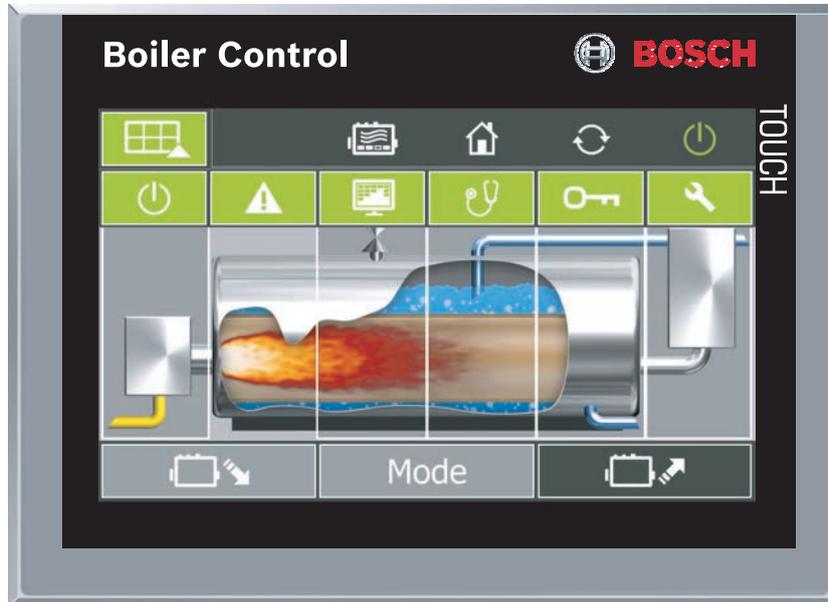
→ Tecnología – Capítulo 4.6: Sistema de control SCO, página 206

Las complejas y estrictas exigencias para un funcionamiento seguro de la caldera se satisfacen utilizando módulos de funciones de software probados en fábrica y especialmente adaptados a los controles de la caldera y del sistema de calderas en cuestión. El cliente se beneficia de sistemas con una amplia gama de variantes en los que los módulos de software individuales ya se han utilizado y probado



muchas veces en la práctica. La programación individual especial sólo se realiza ocasionalmente en casos excepcionales.

### 3.11 Control de caldera BCO



**Fig. 82** Control de calderas BCO - ejemplo de pantalla para calderas de vapor

Para la visualización y el manejo se utiliza una pantalla gráfica TFT con interfaz táctil. Su vida útil extremadamente larga, junto con su intensidad luminosa y de contraste, la hacen eminentemente adecuada para las aplicaciones industriales más exigentes. Las estructuras gráficas de los menús, así como los indicadores de estado y el archivo de valores de proceso, se almacenan en una tarjeta multimedia (MMC) que se inserta en la unidad de control.

#### Guía gráfica del usuario con gran transparencia de los datos de funcionamiento



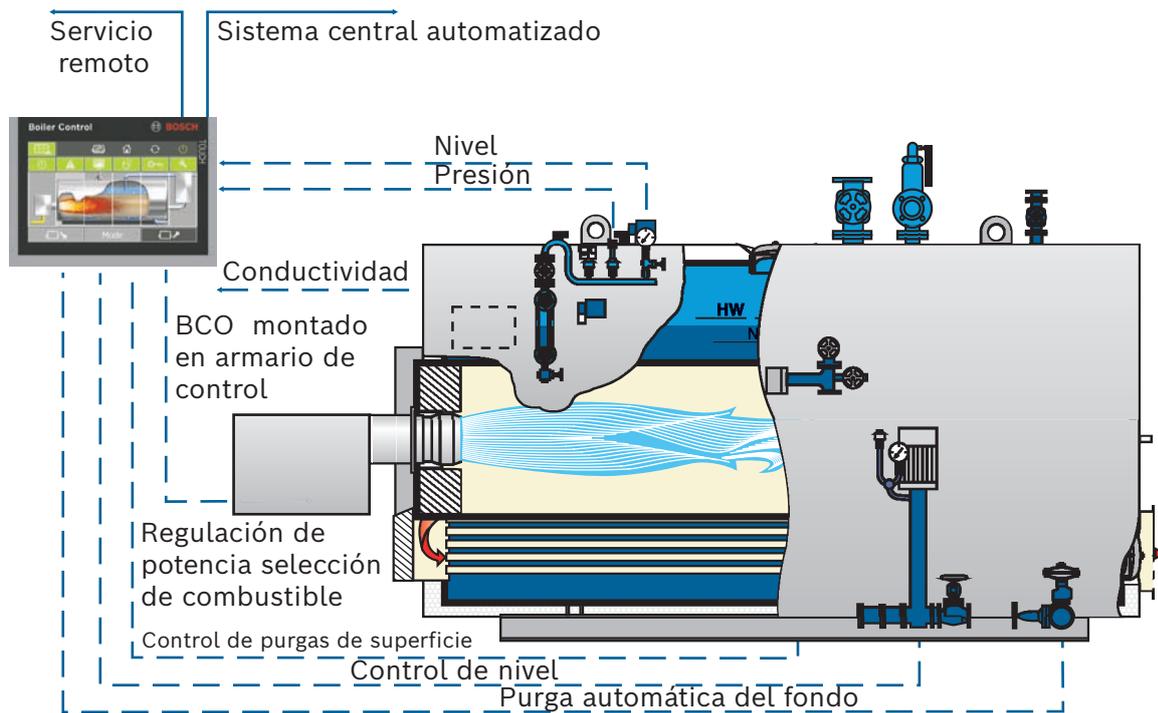
**Fig. 83** Ejemplos de guía del usuario en el control de la caldera BCO

Para facilitar el manejo, el diseño de los símbolos, gráficos y guías de usuario de las pantallas táctiles se basa en los últimos conocimientos sobre ergonomía y manejabilidad. Todas las funciones de control disponibles se pueden activar de forma intuitiva y los valores reales y ajustados se pueden visualizar o modificar en la pantalla en color.

Muchas condiciones de funcionamiento, datos de funcionamiento y mediciones del sistema de caldera ya se indican en la pantalla gráfica del control de caldera BCO con el equipamiento de serie. Esto incluye siempre las horas de funcionamiento de la caldera y del quemador y el número de arranques del quemador, entre otras cosas. Se pueden visualizar todos los puntos de conmutación, diferenciales de conmutación y contactos límite especificados. Los datos de proceso importantes se almacenan en

la tarjeta de memoria de la caldera o del control de la instalación en un intervalo definido. El archivo tiene una estructura rodante: una vez llena la memoria, se borran los datos de proceso más antiguos y se archivan los más recientes. Éstos pueden mostrarse gráficamente como curvas en las pantallas. El archivo de procesos también puede ser leído por el servicio de atención al cliente. Los datos pueden procesarse posteriormente en software de tratamiento de textos o tablas. De este modo, pueden visualizarse fácilmente análisis de consumo de combustible, vapor o progresiones de temperatura. El alto grado de transparencia en relación con los datos de funcionamiento permite optimizar fácilmente los parámetros de control, lo que a su vez reduce el consumo de energía, las emisiones contaminantes y el desgaste general del sistema de calderas.

### Funciones en sistemas de calderas



**Fig. 84** Funciones estándar del control de calderas BCO para calderas de vapor

### Control de calderas BCO para sistemas de calderas de vapor

Además de las funciones estándar de salida, nivel, calidad del agua, purga y control de la cadena de seguridad que incorporan de serie todas las calderas de vapor, el control de calderas BCO puede ampliarse para incluir las siguientes opciones y funciones adicionales:

- Arranque automático en frío
- Medición y control de la temperatura de los gases de combustión para calderas con economizador
- Medición y control de la temperatura del vapor sobrecalentado para calderas con sobrecalentador
- Medición de los caudales de vapor, agua de alimentación y combustible
- Cambio automático de la bomba de alimentación por presión, tiempo o avería
- Modo de mantenimiento del calor controlado por tiempo con reducción de la presión
- Visualización de las horas de funcionamiento, la frecuencia de arranque y el número de arranques en frío a lo largo del tiempo
- Detección de condiciones de arranque desfavorables



- Detección de suciedad en el lado del agua y de los gases de combustión o de condensación no deseada
- Generación de mensajes de servicio según las necesidades
- Visualización de las pérdidas de energía como resultado de la purga de fondo y la purga de superficie
- Visualización del consumo de combustible y agua a lo largo del tiempo
- Visualización de la tasa de eliminación de vapor a lo largo del tiempo
- Visualización del perfil de carga de la caldera a lo largo del tiempo
- Interfaz con sistemas de control de nivel superior
- Mantenimiento remoto a través de MEC Remote
- Interfaz con un sistema de automatización central

→ Tecnología – Capítulo 3.2: Sistema de mantenimiento del calor, página 145

→ Informe técnico FB029: control automático de arranque para calderas de vapor

### **Control del estado (CM)**

CM permite a los clientes supervisar sus sistemas para asegurarse de que funcionan eficazmente y con normalidad. Para ello, los datos del sistema se analizan, evalúan y muestran de forma transparente según un modelo de semáforo.

→ Eficiencia – Capítulo 4.3.2: Control de las condiciones, página 296

### 3.12 Control compacto de calderas de vapor CSC

El control para el rango de potencia de vapor más pequeño, de hasta 4.000 kg/h, convence por su facilidad de manejo y se suministra de fábrica con todas las funciones importantes para el funcionamiento semiautomático de la caldera.



**Fig. 85** Armario de control compacto de CSC para calderas de vapor de menor potencia

El control lógico programable compacto CSC es la solución ideal para calderas de vapor con potencias de hasta 4.000 kg/h. Incluye todas las funciones estándar importantes para un control y un manejo cómodos. En comparación con el control de caldera BCO, diseñado para sistemas más complejos, el CSC es una alternativa asequible para calderas de vapor autónomas.

#### **Beneficios:**

- Atractiva relación calidad-precio para calderas de vapor con potencias de vapor de hasta 4.000 kg/h
- Pantalla táctil en color para un manejo sencillo y una visualización clara de las condiciones de funcionamiento
- Instalación flexible y ahorro de espacio gracias a que el CSC se suministra de fábrica ya instalado en la caldera o como armario de control mural precableado y con pruebas de funcionamiento
- Electrónica de potencia para alimentación de combustible, bomba de agua de alimentación, purga de fondo y purga de superficie
- Condiciones ideales del agua gracias a la purga de superficie y la purga de fondo totalmente automáticas y controladas por conductividad

#### **Equipamiento, funciones estándar:**

- Limitador de nivel de agua bajo y alto
- Limitador de presión positiva máxima
- Control del nivel de agua, de 2 pasos o continuo



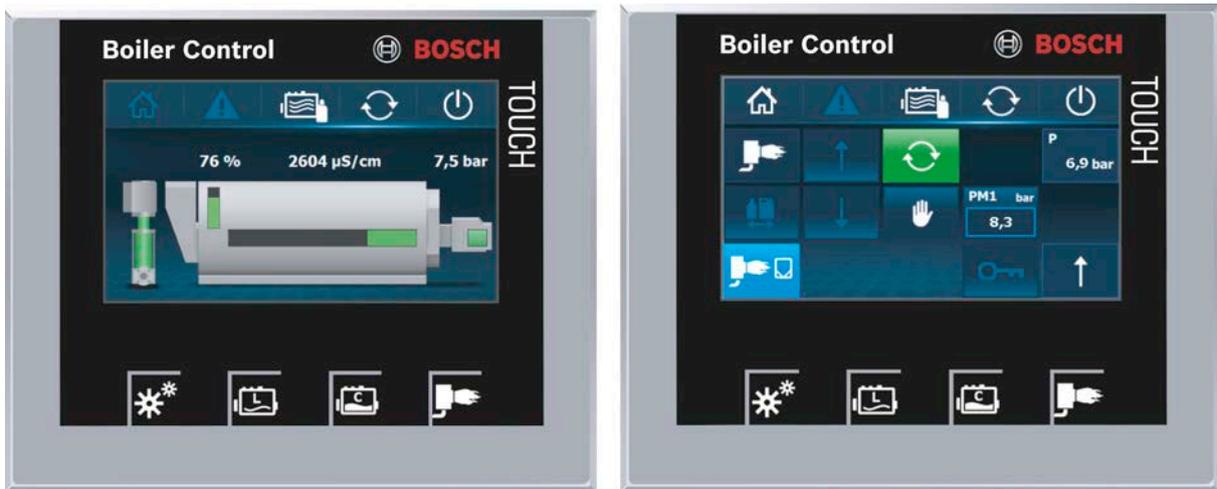
- Dispositivo de protección contra la ebullición de la bomba de alimentación
- Control de salida, de 2 pasos o continuo
- Mensajes de alarma y avería con memoria de mensajes

**Equipamiento opcional:**

- Función de agua alta externa
- Controlador de la bomba de reserva
- Control y limitación de la conductividad
- Purga automática del fondo y de la superficie
- Mantenimiento del calor mediante el sistema de combustión
- Control de potencia con dos combustibles

**Construcción:**

El controlador lógico programable está equipado con una pantalla táctil intuitiva. Se integra en un armario de control de caldera y se monta de forma fija en la caldera, con cableado completo para los sensores, actuadores y quemador. Opcionalmente, el armario de control puede montarse en la pared.



**Fig. 86** Ejemplos de guía del usuario en el CSC de control de calderas





## 4 Cuarto de calderas

El cuarto de calderas es un edificio o parte de un edificio en el que están instaladas una o varias calderas de vapor. Los sistemas auxiliares necesarios para el funcionamiento de la caldera de vapor también suelen estar instalados en la misma sala.

Se trata de sistemas específicos para:

- Tratamiento del agua
- Evacuación del agua
- Tratamiento, distribución y almacenamiento de vapor y condensado
- Control de la calidad del agua
- Tecnología de automatización y control
- Recuperación de calor

En esta zona se aplican normas especiales.

→ Planificación – Capítulo 6: Normativa, página 63

El siguiente diagrama muestra un ejemplo del balance de masas agua-vapor. Los caudales máxicos deben establecerse para cada sala de calderas individualmente en función de los componentes del sistema y las condiciones de funcionamiento, y son esenciales para cualquier planificación.

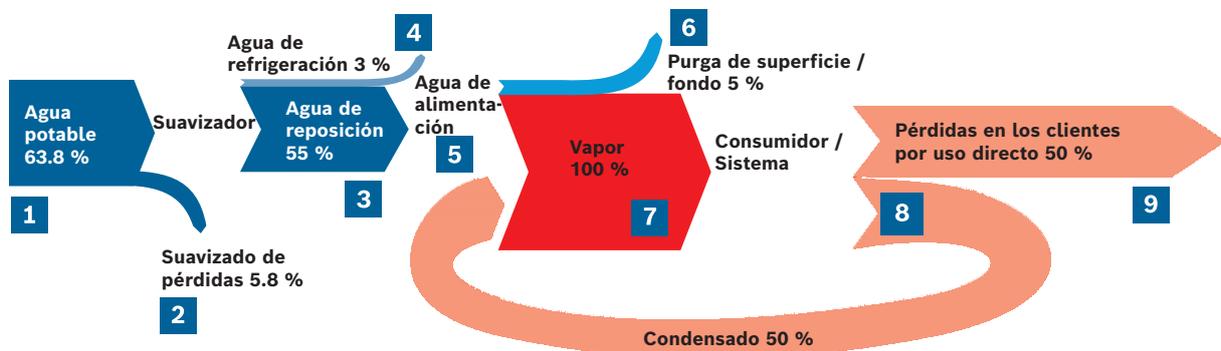
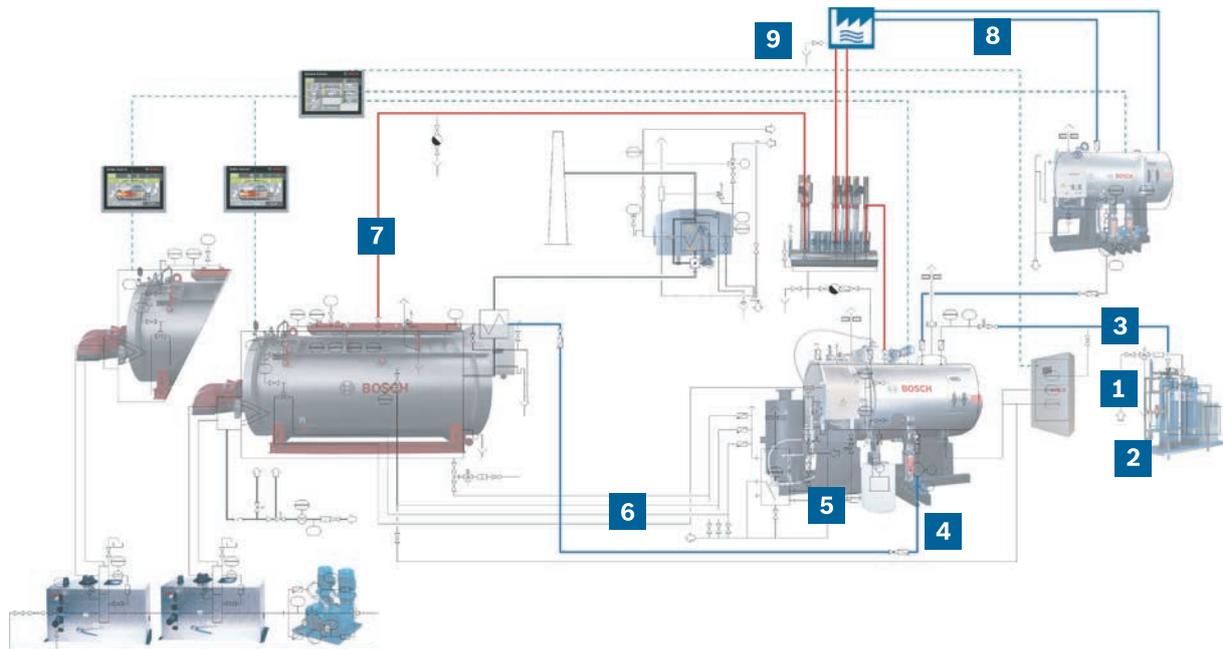


Fig. 87 Balance de masas en el sistema de vapor (los valores mostrados son ejemplos)

- 1 Agua dulce para el ablandamiento
- 2 Pérdidas durante el ablandamiento debidas a la regeneración
- 3 Agua de reposición para desgasificación
- 4 Agua de refrigeración para el depósito de purga de fondo
- 5 Agua de alimentación de la caldera de vapor
- 6 Pérdidas debidas a la purga de fondo/superficie
- 7 Vapor a los consumidores
- 8 Condensado
- 9 Pérdidas en los consumidores (por ejemplo, debido al uso directo)



**Fig. 88** Ejemplo de cuarto de calderas

- 1** Agua dulce para el ablandamiento
- 2** Pérdidas durante el ablandamiento debidas a la regeneración
- 3** Agua de reposición para desgasificación
- 4** Agua de alimentación de la caldera de vapor
- 5** Agua de refrigeración del depósito de purga de fondo
- 6** Pérdidas debidas a la purga de fondo/superficie
- 7** Vapor a los consumidores
- 8** Condensado
- 9** Pérdidas en los consumidores (por ejemplo, debido al uso directo)



## 4.1 Tratamiento de agua

El tratamiento correcto del agua es uno de los requisitos fundamentales más importantes para el funcionamiento seguro y a largo plazo de un sistema de calderas. Por lo tanto, existen requisitos estrictos en relación con la calidad del agua de los sistemas de calderas.

A continuación se explican brevemente los términos utilizados en relación con los sistemas de calderas y sus correspondientes sinónimos para los distintos flujos de agua.

Término	Explicación
Agua dulce (agua bruta)	Agua no tratada que se obtiene de las siguientes fuentes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Red pública (agua corriente)</li> <li>• Pozo propio</li> <li>• Manantial</li> </ul> Esta agua se introduce para llenar el sistema y reponer el agua perdida y normalmente se admite a temperaturas de unos 10 °C.
Agua descalcificada (agua sin dureza, agua blanda)	Agua de la que se han eliminado los iones calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) mediante un intercambiador de iones.
Agua parcialmente desmineralizada (permeado o agua desmineralizada)	Agua que no contiene más o menos sales. Tiene una conductividad $< 50 \mu\text{S}/\text{cm}$ y normalmente se recupera del agua ablandada por ósmosis inversa.
Agua desmineralizada (agua desionizada)	Agua que no contiene ningún tipo de sales. Tiene una conductividad $< 1 \mu\text{S}/\text{cm}$ y normalmente se obtiene mediante una combinación de intercambiadores de aniones y cationes.
Agua de reposición	Agua ablandada, parcial o totalmente desmineralizada que se introduce en el depósito de agua de alimentación para su desgasificación.
Condensado sin oxígeno (condensado de alta presión)	Condensado que se acumula en depósitos cerrados a presiones $> 0.2$ bar.
Agua de alimentación	Agua ablandada, desgasificada y acondicionada químicamente que se alimenta a la caldera mediante bombas de alimentación.

**Tab. 11** Términos de los distintos flujos de agua con explicaciones

Los errores cometidos durante el tratamiento del agua, en los análisis que lo acompañan y un control insuficiente de la calidad del agua siguen siendo las razones más comunes por las que se interrumpe el funcionamiento o se daña el sistema de la caldera de vapor.

Por este motivo, se han adoptado a escala europea normas y reglamentos de amplio alcance que definen con precisión los requisitos de calidad del agua de alimentación y de caldera.

La norma EN 12953-10 establece directrices específicas para el aspecto, la conductividad, el valor de pH, la dureza general, la capacidad ácida y la concentración de hierro, cobre, ácido silícico, aceite/grasa, fosfato y oxígeno. El agua también debe estar libre de sustancias orgánicas.



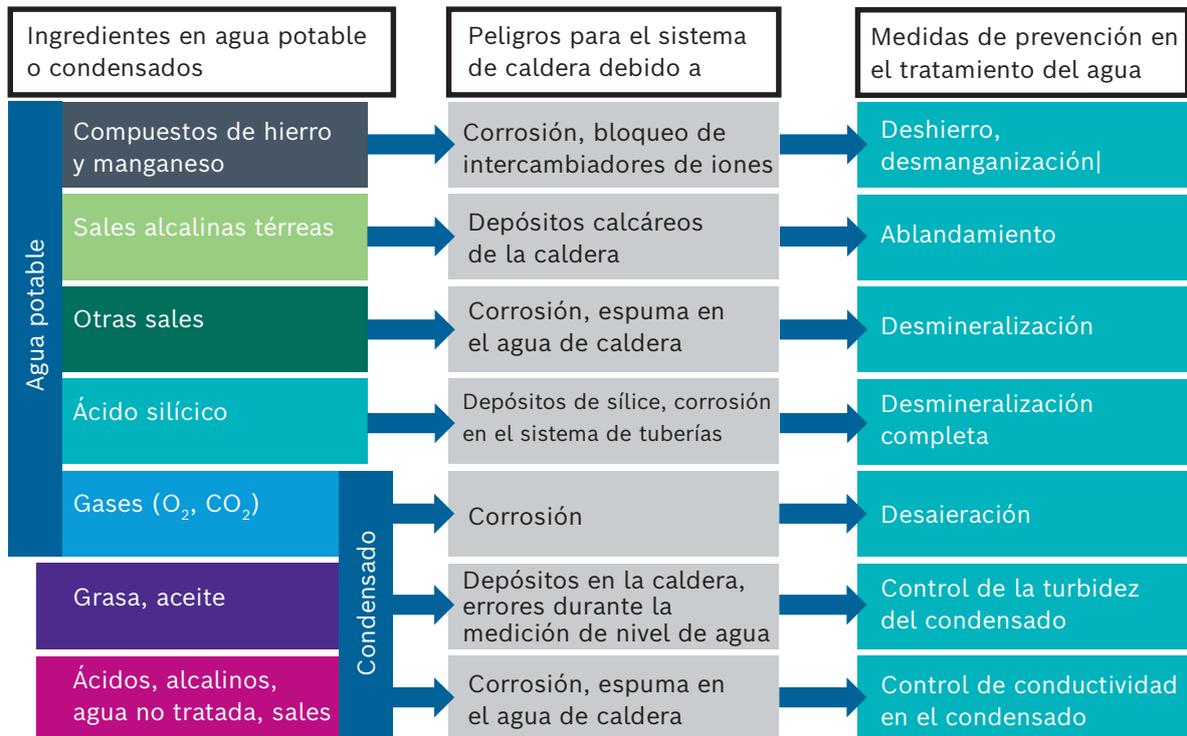
Estos requisitos en relación con el agua de alimentación admitida en las calderas de vapor y el agua de caldera conducen a la reducción o eliminación de las siguientes causas de daños y averías:

- Corrosión
- Depósitos en el lado del agua
- Formación de espuma en el agua de la caldera
- Formación de lodos

El agua dulce debe tratarse para garantizar el cumplimiento de los valores del agua y evitar así daños debidos a un aumento de la concentración de sustancias problemáticas en el agua.

Durante el tratamiento del agua se toman diversas medidas, en función de la potencia del sistema de caldera, la tasa de acumulación de condensado y los ingredientes del agua dulce disponible, para garantizar que el agua sea apta para su uso durante el funcionamiento de la caldera.

La siguiente ilustración ofrece una visión general de los contenidos del agua dulce o condensada, los peligros que suponen para la caldera de vapor y el sistema de calderas y las correspondientes medidas de tratamiento del agua que deben adoptarse.



**Fig. 89** Ingredientes del agua dulce y condensada

El punto de partida para diseñar un sistema de tratamiento del agua debe ser siempre un análisis detallado de la calidad del agua dulce disponible.



### 4.1.1 Desferrización y desmanganización

Durante el desferrizado y la desmanganización, los iones de hierro (II) ( $\text{Fe}^{2+}$ ) y manganeso (II) ( $\text{Mn}^{2+}$ ) disueltos en el agua se oxidan inicialmente para formar iones de mayor valencia. La oxidación puede llevarse a cabo utilizando oxígeno ( $\text{O}_2$ ), otros productos químicos oxidantes como el permanganato potásico ( $\text{KMnO}_4$ ) o mediante catálisis. Los subproductos resultantes se filtran a continuación mediante un granulado filtrante.

### 4.1.2 Ablandamiento

Entre las sustancias disueltas en el agua, la dureza es especialmente perjudicial para el funcionamiento de un sistema de calderas. La dureza se compone principalmente de iones de calcio y magnesio ( $\text{Ca}^{2+}$ ;  $\text{Mg}^{2+}$ ). Si estos metales denominados alcalinotérreos están presentes en el agua de alimentación, pueden precipitarse debido al calentamiento en la caldera y formar cal que se deposita en forma de capa sobre las superficies de calentamiento.



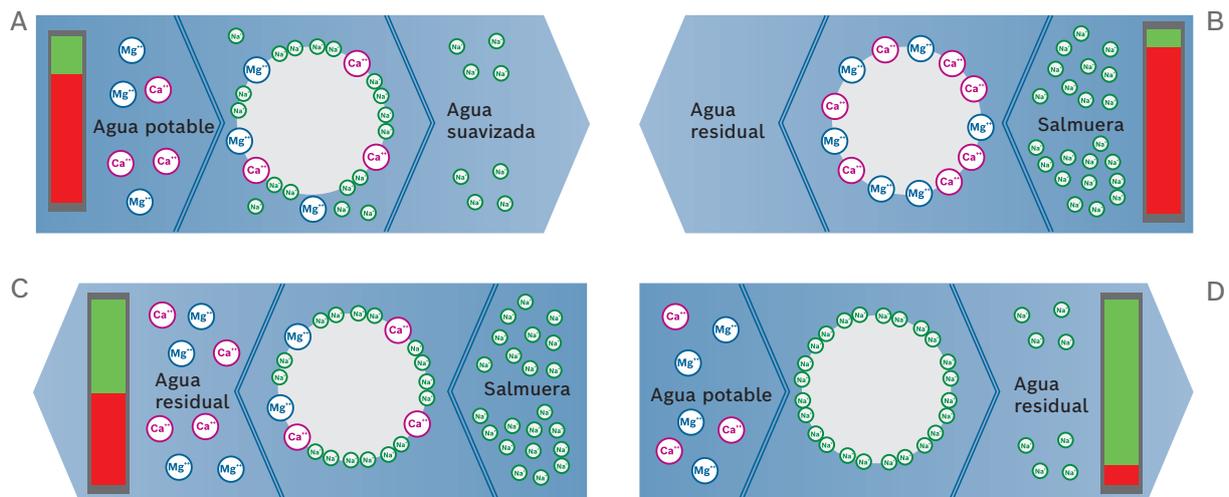
**Fig. 90** Formación de capas en caldera con daños en el tubo de llama

Si la formación de una capa o revestimiento no se identifica a tiempo, se producirá un deterioro de la eficacia porque se restringe la transferencia de calor. Si las capas siguen espesándose, puede producirse un sobrecalentamiento de las superficies de calefacción y daños con graves consecuencias, que también podrían significar una pérdida total de la caldera.

Para evitarlo, es necesario eliminar los componentes de dureza del agua.

#### Principio de funcionamiento del intercambiador de iones

La sustitución iónica es el método más común de descalcificación del agua. Consiste en sustituir las sustancias que forman la dureza, calcio y magnesio, por sodio, que es inocuo. La sustitución iónica es un método de descalcificación sencillo y eficaz que sólo implica el pequeño coste de utilizar una sal regeneradora especial.



**Fig. 91** Principio de funcionamiento de un intercambiador de iones para ablandar el agua

### Condición de funcionamiento A: ablandamiento del agua

Durante el ablandamiento del agua se produce una reacción química de equilibrio mediante el intercambio de iones. Los iones de sodio se adhieren a la resina intercambiadora del depósito a presión. Cuando el agua calcárea fluye a través de la unidad ablandadora de agua, los iones de calcio y magnesio del agua se adhieren a la resina de intercambio. Los iones de sodio se liberan en el intercambio.

### Condición de funcionamiento B: inicio de la regeneración

La resina de intercambio sigue aceptando nuevos componentes de dureza hasta que se satura. Entonces, la resina de intercambio iónico debe regenerarse. Para ello se necesita una sal ablandadora especial que se disuelve en el agua para formar salmuera.

La resina intercambiadora se lava con la salmuera durante la regeneración. Debido al exceso de sodio en la salmuera, la resina libera de nuevo los iones de calcio y magnesio y absorbe los iones de sodio.

### Condición de funcionamiento C: fin de la regeneración

Dado que la resina aglutina principalmente iones de calcio y magnesio, no puede regenerarse por completo. Por ello, se recomienda utilizar únicamente descalcificadores con la denominada salmuera económica.

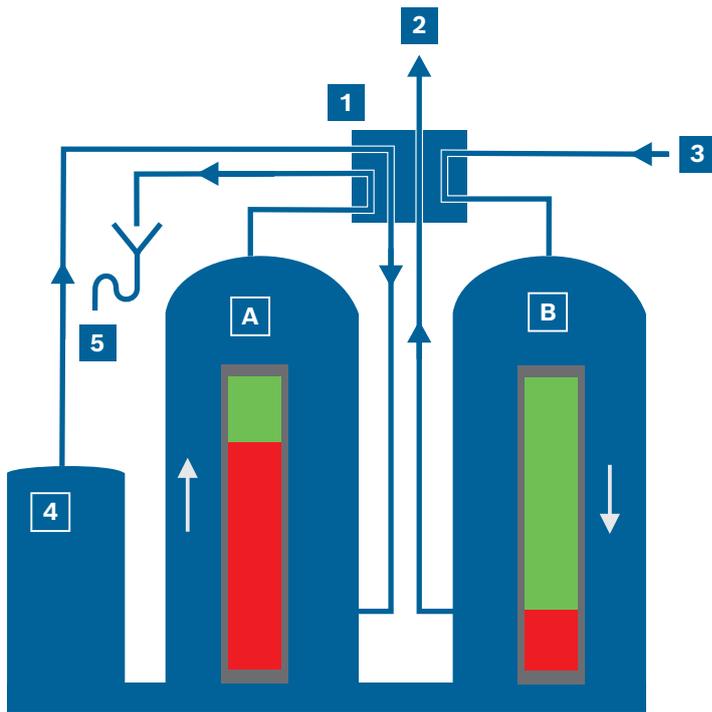
### Condición de funcionamiento D: el ablandamiento del agua comienza de nuevo

Una vez finalizado el proceso de regeneración, el intercambiador de iones se enjuaga con agua y queda listo para otro ciclo de descalcificación.

En el caso de los descalcificadores más grandes, se recomienda utilizar sistemas dobles. Éstos pueden funcionar alternativamente.

→ Fig. 92, página 181

De este modo, un intercambiador de iones puede producir agua descalcificada mientras el otro se regenera. De este modo, se puede garantizar que siempre haya agua descalcificada disponible.



**Fig. 92** Esquema y representación visual de un sistema doble de ablandador de agua

- A** Condición de funcionamiento A: intercambiador de iones en regeneración a contracorriente
- B** Estado de funcionamiento B: intercambiador de iones en funcionamiento
- 1** Conmutador: indica el sentido de circulación de la corriente
- 2** Agua de reposición descalcificada
- 3** Agua dulce
- 4** Recipiente para la solución regeneradora
- 5** Agua residual

### 4.1.3 Desmineralización

El agua de la caldera se evapora dejando atrás las sales disueltas en el agua, lo que significa que aumenta la concentración de sal en el agua restante de la caldera. Para evitar que se supere la concentración de sal permitida, es necesario eliminar continuamente la sal, lo que conlleva pérdidas de energía y agua.

Para reducir la tasa de purga superficial, es aconsejable desmineralizar el agua dulce, especialmente con bajas tasas de acumulación de condensado < 50 % y alta conductividad en el agua dulce. La desmineralización tiene lugar después del ablandamiento. Uno de los métodos más comunes es la ósmosis inversa.

### Cálculo de la tasa de purga superficial

La tasa de purga superficial necesaria puede calcularse a partir de la conductividad medida en el agua de alimentación o de los parámetros del agua de reposición y de la tasa de acumulación de condensado (la conductividad del condensado es normalmente despreciable):

$$a = \frac{L_{FW}}{L_{boi} - L_{FW}} \approx \frac{L_{MW} \cdot (1 - c)}{L_{boi} - L_{MW} \cdot (1 - c)}$$



**F19.** Ecuación para el cálculo de la tasa de purga superficial

- a Tasa de purga superficial de la cantidad de agua de alimentación [%]
- $L_{FW}$  Conductividad en el agua de alimentación [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]
- $L_{MW}$  Conductividad en el agua de reposición [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]
- $L_{boi}$  Conductividad admisible del agua de caldera [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]
- c Tasa de acumulación de condensado

Además de la conductividad, la tasa de purga superficial viene determinada por otros parámetros del agua como el contenido de ácido silícico  $\text{SiO}_2$  o la dureza (carbonatada) con el valor límite 8.2. En este caso, el mayor valor calculado siempre es decisivo para la tasa de purga superficial real. En este caso, el mayor valor calculado es siempre decisivo para la tasa de purga superficial real.

Estos parámetros pueden calcularse siguiendo las mismas líneas que la fórmula anterior para la conductividad:

	Unidad	Conductividad	$\text{SiO}_2$	Capacidad ácida 8.2
<b>Cantidad de vapor</b>	[kg/h]	10 000	10 000	10 000
<b>Tasa de purga superficial</b> (en función de la cantidad de vapor) <sup>1)</sup>	[%]	<b>3.27</b>	2.56	3.00
<b>Proporción de condensado c</b>	[%]	50	50	50
<b>Proporción de agua dulce</b>	[%]	50	50	50
<b>Valor en agua dulce</b>	[ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	380	7.5 [mg/l]	0.7 [mmol/l]
<b>Límite, agua de caldera</b>	[ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	6 000	150 [mg/l]	12 [mmol/l]
<b>Valor en agua de alimentación</b>	[ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	190	3.75	0.35
<b>Cantidad de purga superficial</b>	[kg/h]	<b>327</b>	256	300
<b>Cantidad de agua de alimentación</b>	[kg/h]	<b>10 327</b>	10 256	10 300

**Tab. 12** Cálculo de la tasa de purga superficial

1) La tasa de purga superficial viene determinada por el mayor valor. En este ejemplo, el valor de conductividad 3.27 %.



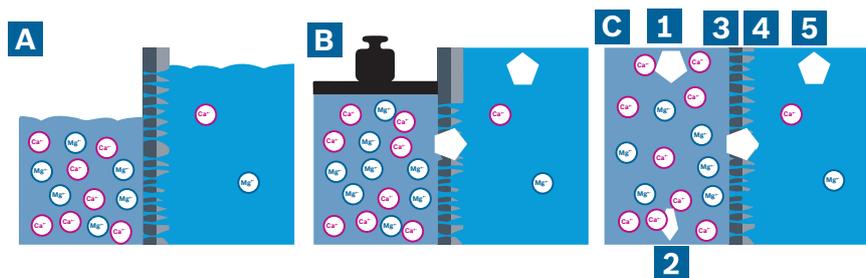
### Ósmosis inversa

La ósmosis inversa se basa en el principio de que la resistencia a la difusión de los poros de las membranas de separación es significativamente menor para las moléculas de agua más pequeñas que la resistencia de los iones más grandes disueltos en el agua. Si el sistema está en equilibrio, la presión en el lado del concentrado (retentado) es mayor que la presión en el lado del agua pura (permeado). Esto también se denomina presión osmótica y se manifiesta por una diferencia de altura.

→ Fig. 92, página 181, [A]

La desmineralización del agua para operaciones técnicas se lleva a cabo con la ayuda de membranas artificiales mediante las cuales se invierte el proceso de ósmosis natural por medio de la carga de presión en el lado del concentrado. Las sales disueltas y las sustancias orgánicas se retienen más o menos completamente durante este proceso.

→ Fig. 93, página 183, [B]



**Fig. 93** Visualización de la presión osmótica (A), de la ósmosis inversa por carga de presión en el lado del concentrado (B) y del proceso continuo de ósmosis inversa (C).

- A** Ilustración de la presión osmótica
- B** Ósmosis inversa por carga de presión en el lado del concentrado
- C** Proceso de ósmosis inversa continua
- 1** Agua dulce
- 2** Retentado
- 3** Membrana semipermeable
- 4** Capa portadora
- 5** Permeado

Proceso de separación	Filtración por colador	Filtración fina	Filtración de partículas	Micro filtración	Ultra filtración (UF)	Nano filtración (NF)	Ósmosis inversa (OI)
<b>Límites de separación</b>	> 500 µm	5 ... 500 µm	1 ... 10 µm	0.1 ... 1 µm	0.01 ... 0.1 µm	0.001 ... 0.01 µm	< 0.001 µm
<b>Sustancias separables</b>	Granos, Arena, Fibras	De mayor tamaño partículas, algas	Pequeñas partículas, gérmenes, bacterias, virus	Micro-partículas, gérmenes, bacterias, virus	Virus y sustancias moleculares	Sustancias de bajo peso molecular y sustancias húmicas	iones
<b>Procedimiento en la tecnología del agua</b>	Tamizado, ciclones, sedimentación, clarificación	Filtro de tela, filtro de tela	Filtro rápido multicapa, filtración por membrana (MF)	Filtro lento multicapa, filtración por membrana (MF)	Filtración por membrana (UF)	Filtración por membrana (NF)	Ósmosis inversa (OI)
<b>Límites de separación</b>	> 1 mm	500 µm	10 µm	1 µm	100 nm	10 nm	1 nm

**Tab. 13** Visión general de los límites y métodos de separación en el tratamiento del agua

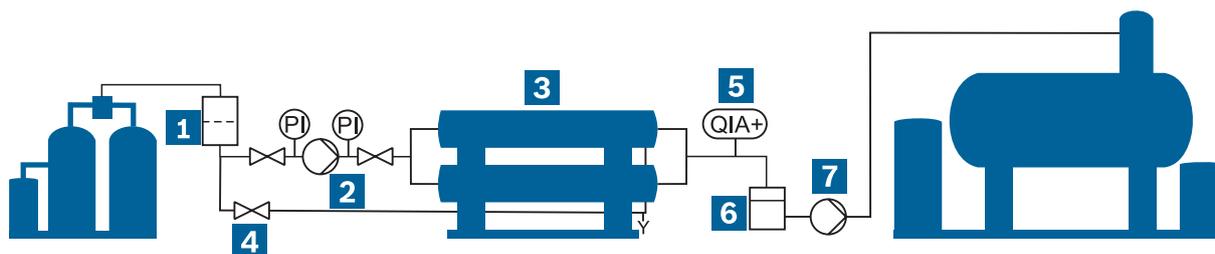
El agua pura generada está disponible continuamente y el condensado que se acumula puede introducirse en el sistema de alcantarillado sin tratamiento adicional.

El requisito previo para utilizar un sistema de ósmosis inversa es que el agua se ablande previamente. El agua también debe ser clara y estar libre de materias extrañas insolubles y es especialmente importante que también esté libre de contaminantes orgánicos para evitar el bloqueo de las membranas.

El agua ablandada se introduce en los módulos equipados con una membrana a una presión < 40 bares. El agua fina y una proporción muy pequeña de pequeños iones de sal se difunden a través de la membrana y forman el permeado (latín: *permeare* = penetrar), que queda disponible como agua parcialmente desmineralizada. La proporción de permeado en el agua filtrada es del 80 ... 95 %. El resto (5 ... 20 %) del volumen original de agua es el concentrado salino, también denominado retentado (latín: *retinere* = retener), que se desecha.

El proceso de ósmosis inversa tiene lugar mientras el sistema está continuamente en funcionamiento, está prácticamente exento de productos químicos y elimina aproximadamente el 98 % de las sales, de modo que la conductividad del permeado es inferior a 15 µS/cm. El sistema se supervisa durante todo este proceso para asegurarse de que funciona correctamente midiendo la conductividad en el permeado.

Para que los sistemas que realizan la ósmosis inversa sean lo más pequeños posible, se recomienda utilizar un depósito de recogida de permeado. Éste alimenta el desaireador del depósito de agua de alimentación.



**Fig. 94** Representación esquemática de un tratamiento de agua por ósmosis inversa con depósito de permeado

- 1** Filtro
- 2** Bomba de alta presión
- 3** Módulo de ósmosis inversa
- 4** Bypass
- 5** Control de la conductividad (QIA+)
- 6** Depósito de permeado
- 7** Bomba de permeado

### Desmineralización completa

La desmineralización completa del agua con una conductividad de  $< 0.2 \mu\text{S}/\text{cm}$  se consigue mediante un intercambio iónico completo con percolador de  $\text{CO}_2$ , siempre que también se instale un filtro de lecho mixto aguas abajo del intercambiador de aniones. Los intercambiadores de cationes y aniones se combinan en el filtro. Para optimizar el proceso de desmineralización completa y reducir el consumo de agente regenerador, se instalan intercambiadores de aniones débilmente ácidos y débilmente alcalinos antes de los intercambiadores fuertemente ácidos o fuertemente alcalinos. El agua completamente desmineralizada también se denomina agua desionizada.

#### 4.1.4 Desgasificación térmica

Los componentes corrosivos del agua de alimentación o del condensado pueden dañar el depósito de agua de alimentación, la caldera, el economizador o las tuberías. La causa principal es la oxidación o la corrosión por ácido carbónico.

La oxidación provoca la formación de agujeros en varios puntos del material base. Con el tiempo, el material se erosiona más profundamente. La "corrosión por picaduras", un patrón típico de daños, aparece.

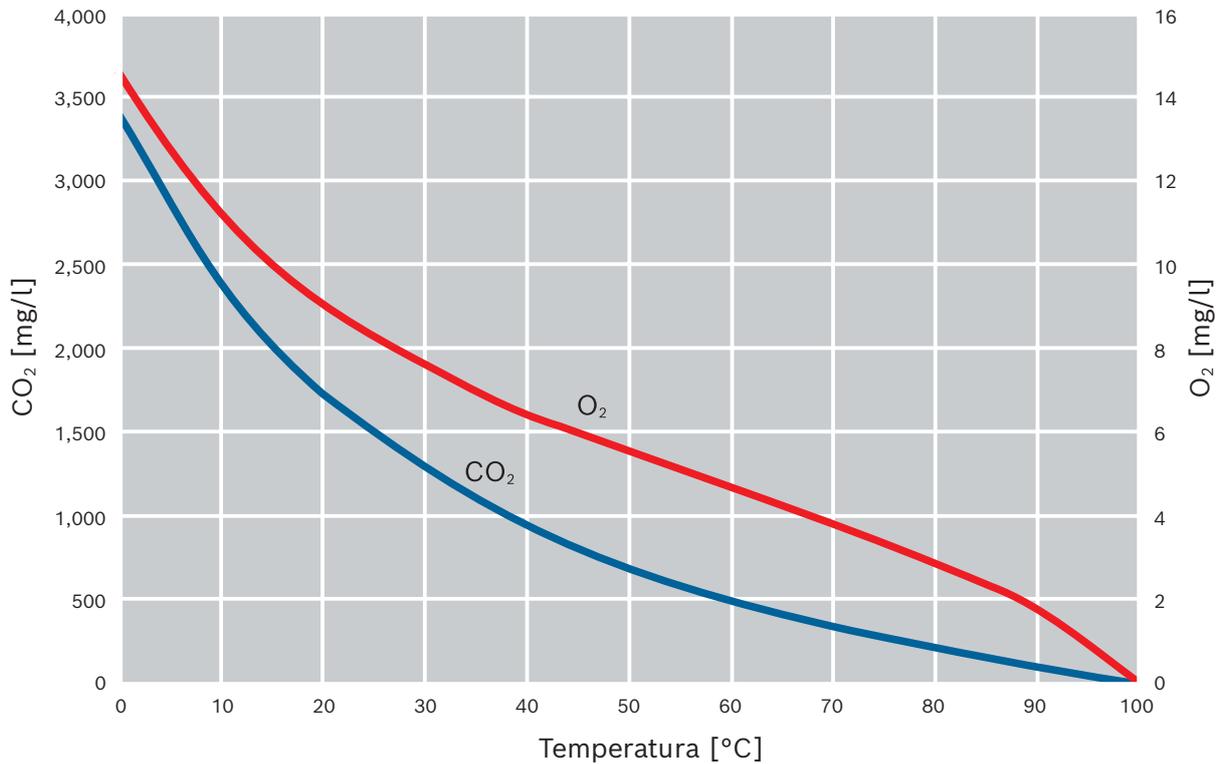


**Fig. 95** Daños por oxidación en la caldera y en las tuberías

Por otro lado, el signo externo de la corrosión por ácido carbónico (corrosión por  $\text{CO}_2$ ) es casi siempre una erosión superficial relativamente uniforme del material. La desaireación térmica es un método eficaz para mantener los niveles de oxígeno y dióxido de carbono en el agua de alimentación permanentemente por debajo de los valores nocivos. Este método aprovecha el hecho de que los gases se vuelven menos

solubles en agua a medida que aumenta su temperatura. Su solubilidad cae prácticamente a cero a 100 °C.

Los valores se basan en el equilibrio de la solubilidad. Para que se produzca realmente la desgasificación, debe haber un intercambio activo entre los gases disueltos en el agua y el espacio de vapor del depósito de agua de alimentación, lo que se consigue utilizando desgasificadores por goteo o por pulverización. Aquí se genera un gran límite de fase para facilitar el transporte rápido del material a la fase gaseosa. Además, el agua debe permanecer en el recipiente durante cierto tiempo para expulsar los gases restantes.



**Fig. 96** Solubilidad del oxígeno y del dióxido de carbono en el agua



**Fig. 97** Un módulo de servicio de agua, compuesto por un depósito de agua de alimentación con desgasificador por goteo, módulos de bomba de alimentación, vaso de expansión de purga, depósitos dosificadores y el armario de control correspondiente.



El agua dulce o el condensado oxigenado se introduce por la parte superior en la cúpula del desaireador y se distribuye finamente, ya sea mediante boquillas de pulverización o bandejas de goteo. Se calienta hasta la temperatura de ebullición mediante vapor de calentamiento que fluye a través del desaireador en dirección de contracorriente desde abajo hacia arriba. Los gases liberados durante el calentamiento se eliminan junto con los vapores de escape necesarios en el extremo superior de la cúpula de desaireación.

La mayor parte del calor de los vapores de escape puede transferirse al agua de reposición a través de un intercambiador de calor de vapores de escape (VC) y, por lo tanto, es retenido por el sistema de vapor.

→ Eficiencia – Capítulo 3.2: Vapores de escape, página 280

→ Productos – Capítulo 4.8: Refrigerador de vapor VC, página 350

### Desaireación total

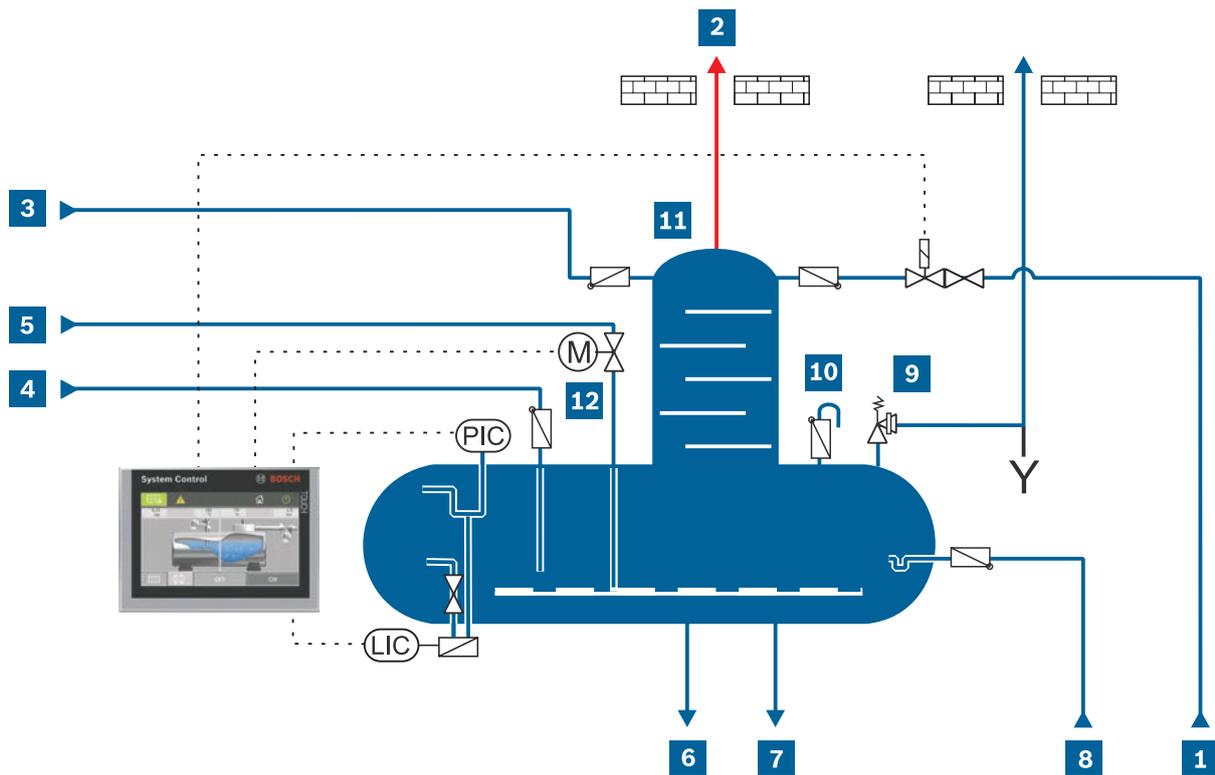
La desgasificación completa se produce cuando el contenido máximo de oxígeno de 0.02 mg O<sub>2</sub>/l y el contenido máximo de CO<sub>2</sub> de 1 mg CO<sub>2</sub>/l pueden mantenerse de forma fiable a presiones de funcionamiento de 0.1 ... 0.3 bar y, por tanto, a temperaturas superiores a 100 °C.

En este caso, los ligantes químicos del oxígeno sólo se utilizan de forma muy limitada para garantizar que el agua de alimentación no contenga oxígeno en absoluto.

	<b>Desaireador por pulverización</b>	<b>Desaireador de goteo</b>
<b>Altura de la sala</b>	++ Muy compacto	- La cúpula de desaireación se extiende hacia arriba
<b>Costes de inversión</b>	+ Ligeramente inferior	- Ligeramente más alto
<b>Las condiciones de funcionamiento se desvían de las condiciones de diseño (caudales de condensado)</b>	- Carga parcial apenas posible	++ Muy buen comportamiento en carga parcial
<b>Uso de agua de reposición control continuo<sup>1)</sup></b>	- Carga parcial apenas posible	++ Muy buen comportamiento en carga parcial

**Tab. 14** Comparación entre el purgador por pulverización y el purgador por goteo

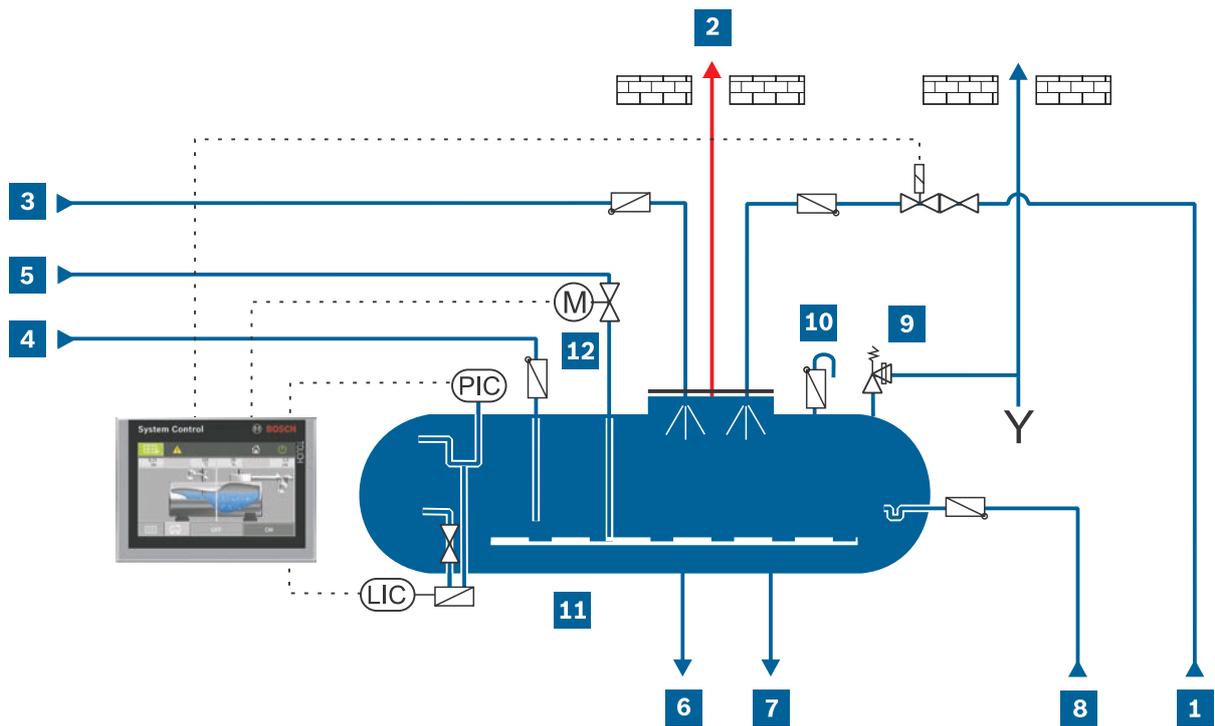
1) Recomendado para la recuperación de calor con agua de reposición



**Fig. 98** Diagrama de flujo de tuberías e instrumentación para desaireación completa con desaireador de goteo

**LIC** Transmisor de nivel  
**PIC** Transmisor de presión

- |                                 |  |
|---------------------------------|--|
| <b>1</b> Agua de reposición     | <b>7</b> Drenaje                                       |
| <b>2</b> Vapor de escape        | <b>8</b> Dosificación                                  |
| <b>3</b> Condensado oxigénico   | <b>9</b> Válvula de seguridad                          |
| <b>4</b> Condensado sin oxígeno | <b>10</b> Válvula antivació                            |
| <b>5</b> Vapor de calentamiento | <b>11</b> Desaireador de goteo                         |
| <b>6</b> Agua de alimentación   | <b>12</b> Válvula de control de vapor de calentamiento |



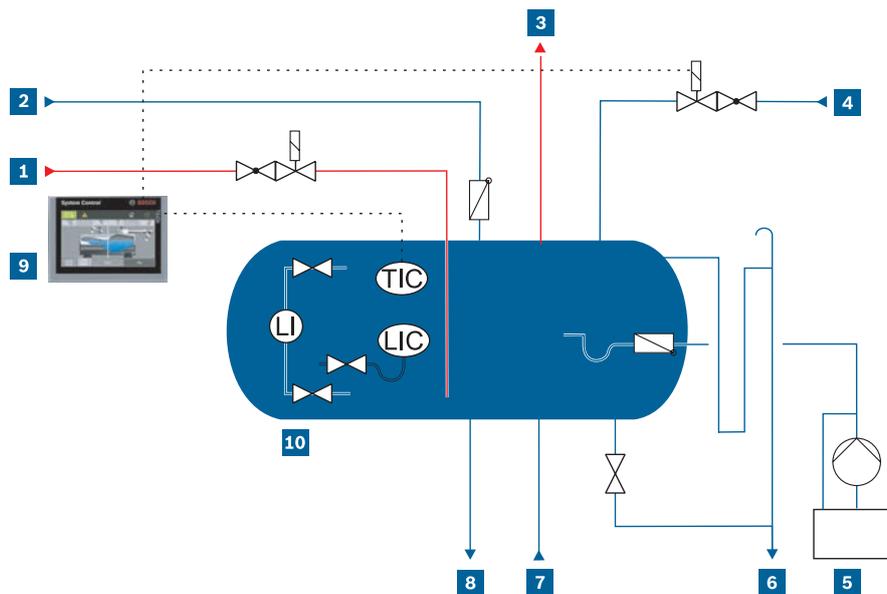
**Fig. 99** Diagrama de flujo de tuberías e instrumentación para desaireación completa con desaireador por pulverización

**LIC** Transmisor de nivel  
**PIC** Transmisor de presión

- |                                 |  |
|---------------------------------|--|
| <b>1</b> Agua de reposición     | <b>7</b> Drenaje                                       |
| <b>2</b> Vapor de escape        | <b>8</b> Dosificación                                  |
| <b>3</b> Condensado oxigénico   | <b>9</b> Válvula de seguridad                          |
| <b>4</b> Condensado sin oxígeno | <b>10</b> Válvula antivacío                            |
| <b>5</b> Vapor de calentamiento | <b>11</b> Desaireador de pulverización                 |
| <b>6</b> Agua de alimentación   | <b>12</b> Válvula de control de vapor de calentamiento |

### Desaireación parcial

Si la desaireación sólo tiene lugar a unos 90 °C, se habla de desaireación parcial, ya que todavía puede quedar en el agua una cantidad residual de los gases ligados. En este caso, debe intensificarse el uso de ligantes químicos del oxígeno para, en primer lugar, ligar químicamente el oxígeno restante en el agua de alimentación para evitar la corrosión en la caldera y en el resto del sistema de vapor.



**Fig. 100** Suministro de agua de alimentación - desaireación parcial

**LI** Indicador de nivel  
**LIC** Regulador de nivel  
**TIC** Regulador de temperatura

- |  |   |
|--|---|
| <b>1</b> Tubería de vapor de calentamiento     | <b>6</b> Línea de drenaje y rebosadero      |
| <b>2</b> Tubería de alimentación de condensado | <b>7</b> Bypass de la bomba de alimentación |
| <b>3</b> Tubería de vapor de escape            | <b>8</b> Línea de agua de alimentación      |
| <b>4</b> Agua de reposición                    | <b>9</b> Sistema de control                 |
| <b>5</b> Dosificación química                  | <b>10</b> Depósito de agua de alimentación  |

#### 4.1.5 Dosificación química

Para estar absolutamente seguros de que se alcanzan y controlan las calidades de agua requeridas, es necesario llevar a cabo un tratamiento adicional para mejorar las características específicas del agua de alimentación y del agua de caldera.

Esta dosificación química ayuda a garantizar lo siguiente:

- Fijación del oxígeno residual
- Reducción de la corrosión mediante el ajuste del pH
- Estabilización de la dureza residual
- Prevención de la formación de depósitos y cal

Para ello, se añaden los dosificadores al depósito de agua de alimentación de modo que se alcance un tiempo de reacción suficiente de unos 30 minutos.

El sulfito sódico se utiliza normalmente como agente secuestrante de oxígeno y el fosfato de trinatrio se emplea para aglutinar la dureza residual y elevar el valor del pH.

→ Informe técnico FB026: tratamiento moderno y análisis del agua



## 4.2 Evacuación de agua

Las condiciones de introducción de las aguas residuales en el alcantarillado público las definen normalmente las autoridades locales. En Alemania, el valor del pH de las aguas residuales suele estar entre 6.5 ... 10 y normalmente se introducen en el alcantarillado a una temperatura de 35 °C.

### 4.2.1 Aguas residuales calientes

Las aguas residuales calientes a presión procedentes de la caldera durante la purga de fondo y la purga de superficie deben enfriarse antes de introducirse en el sistema de alcantarillado. Para ello, se utiliza un depósito de vaciado de fondo en el que se introducen las aguas residuales calientes a través de dos conectores (uno para las aguas residuales de más de 100 °C y otro para las de menos de 100 °C). En el depósito se acumula vapor de expansión que se expulsa a la atmósfera a través del techo. El agua residual restante se enfría hasta la temperatura admisible a la que puede introducirse en el sistema de alcantarillado añadiendo agua fría.



**Fig. 101** Módulo de expansión y refrigeración de purgas BEM

- 1** Tubo de vapor de expansión pasante
- 2** Sensor de medición de temperatura
- 3** Conexión para agua de refrigeración (incl. válvula de control de temperatura)
- 4** Salida para drenaje
- 5** Conexión para aguas residuales < 100 °C
- 6** Desagüe al alcantarillado
- 7** Conexión para aguas residuales > 100 °C

Dado que las aguas residuales transportan una gran cantidad de energía que puede aprovecharse a temperaturas en torno a los 100 °C, debe considerarse el uso de un módulo de recuperación de calor, sobre todo teniendo en cuenta el bajo tiempo de amortización.

→ Eficiencia – Capítulo 3.1: Purga de superficie y purga de fondo, página 277

## 4.2.2 Evacuación de agua - condensado de gases de combustión

El condensado de los gases de combustión se forma de vez en cuando al arrancar el sistema de calderas desde el estado frío y continuamente durante el aprovechamiento del poder calorífico con un intercambiador de calor de condensación. Este condensado es ácido (valor  $\text{ph} < 4$ ) y, para cumplir las condiciones de introducción de aguas residuales en el alcantarillado público, debe neutralizarse antes de verterse al alcantarillado.

Dependiendo de la cantidad de condensado, para ello se utilizan sistemas que contienen gránulos o líquidos de neutralización.



**Fig. 102** Neutralizadores de condensados de gases de combustión (izquierda: sistema granulado, derecha: sistema líquido)

## 4.3 Tratamiento, distribución y almacenamiento de vapor

### 4.3.1 Secado por vapor

La llamada calidad del vapor viene determinada por la cantidad de humedad residual en el flujo de vapor. Es ventajoso que el contenido de agua sea lo más pequeño posible. Los secadores de vapor pueden separar las pequeñas gotas de agua que arrastra el vapor. De este modo, también se eliminan del vapor las sales o la contaminación que contienen.

Para ello, ya se instala una placa deflectora de vapor en el conector de alimentación de vapor de las calderas de vapor. La desviación del flujo de vapor separa las gotas de agua que vuelven a caer en la cámara de agua. Esto reduce el contenido de humedad residual al 1 ... 3 % durante el funcionamiento normal. Esto es suficiente para la mayoría de las aplicaciones.

Sólo se requiere una reducción adicional de la humedad del vapor si las fluctuaciones de carga en el lado del consumidor son muy rápidas o si se utiliza un módulo de sobrecalentamiento. Para ello se puede utilizar un desempañador equipado con una malla metálica especial que también se encuentra debajo del conector de alimentación de vapor. Así, la humedad residual puede reducirse al 0.1 %.



**Fig. 103** Un antivaho, como el instalado en la caldera de vapor debajo de la alimentación de vapor



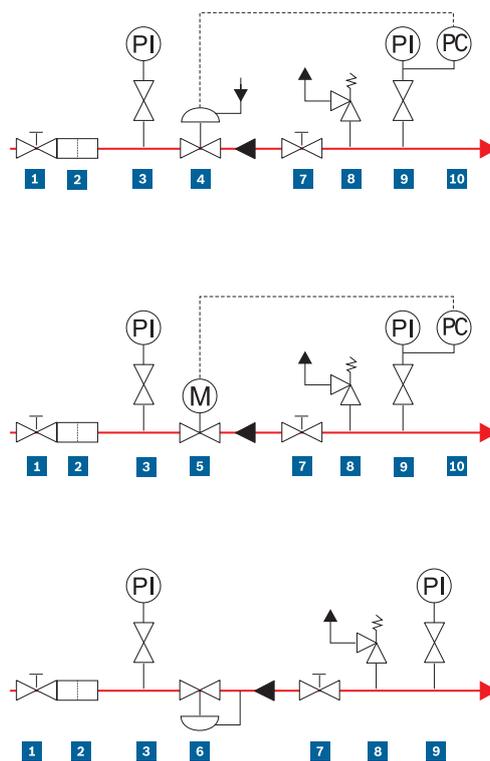
Debido a las pérdidas de calor en la tubería de vapor, la humedad del vapor a lo largo de la tubería aumenta, por lo que se puede utilizar un secador de vapor directo aguas arriba de los consumidores de vapor, especialmente cuando se utiliza vapor con fines de secado. En los secadores de vapor, el vapor húmedo se introduce tangencialmente en el secador y las fuerzas centrífugas empujan las gotas más pesadas hacia el exterior donde se separan. Después, el vapor se desvía 180° en la sección inferior, donde se separan las gotas más pequeñas, y sale con un contenido de humedad residual < 0.5%.

### 4.3.2 Reducción de la presión del vapor

Una reducción de la presión de vapor puede producirse por varias razones:

- Para compensar las fluctuaciones de presión en la caldera de vapor, lo que garantiza un nivel de presión extremadamente constante para los consumidores de vapor.
- Para separar el control de potencia de la caldera de las variaciones repentinas de carga.
- Los consumidores requieren diferentes niveles de presión
- La presión positiva máxima admisible de los consumidores es inferior a la de la caldera de vapor

La presión del vapor se reduce mediante las denominadas estaciones reductoras de presión, que pueden ser motorizadas, neumáticas o de control medio. Las estaciones reductoras de control medio no requieren energía auxiliar ni componentes eléctricos, pero su calidad de control es a veces inferior a la de las válvulas controladas por motor o neumáticamente.



**Fig. 104** Estación reductora de presión de vapor (neumática, motorizada o de control medio)

- |  |  |
|--|--|
| <b>1</b> Válvula de cierre (lado de presión primaria)    | <b>6</b> Válvula de control (controlada por el medio)      |
| <b>2</b> Colector de suciedad                            | <b>7</b> Válvula de cierre (lado de presión secundaria)    |
| <b>3</b> Indicador de presión (lado de presión primaria) | <b>8</b> Válvula de seguridad                              |
| <b>4</b> Válvula de control (controlada neumáticamente)  | <b>9</b> Indicador de presión (lado de presión secundaria) |
| <b>5</b> Válvula de control (controlada por motor)       | <b>10</b> Transmisor de presión                            |

### 4.3.3 Distribución de vapor

Los distribuidores de vapor se utilizan para combinar el vapor generado por una o varias calderas en un lugar central (normalmente el cuarto de calderas) y distribuirlo después entre los distintos consumidores de las instalaciones de explotación, así como el calentamiento del agua de alimentación.

El vapor también se seca, es decir, se reduce el contenido de humedad residual, debido a la desviación de 180° del vapor entre el generador y el consumidor.

Normalmente, también se mide la presión en el distribuidor de vapor con el fin de controlar la secuencia de la caldera controlada por presión.

Beneficios:

- Combinación del vapor de los generadores de vapor
- Distribución entre los consumidores
- Control de la secuencia de calderas
- Secado y deshidratación del vapor

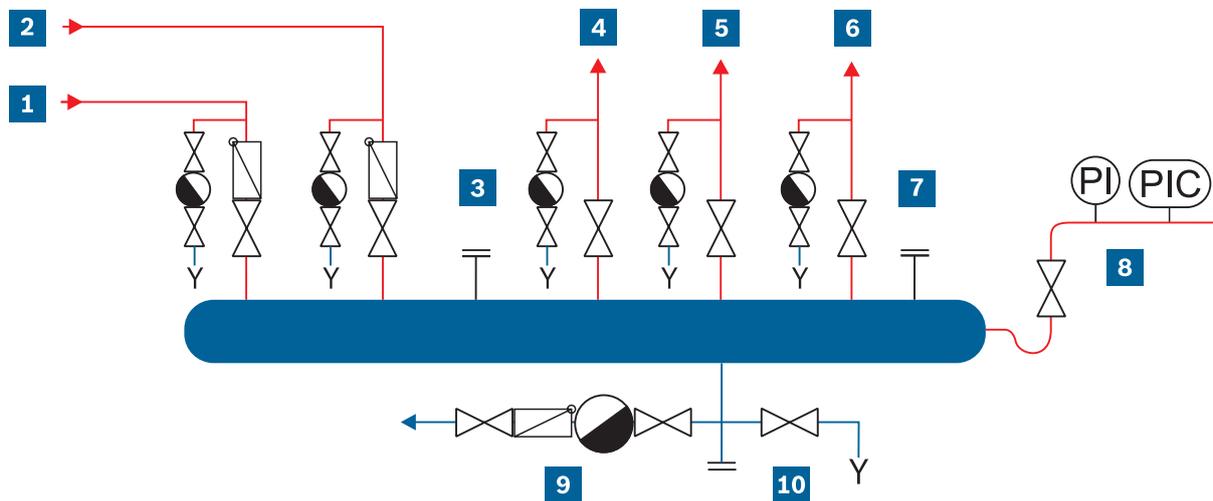


Fig. 105 Representación esquemática de un distribuidor de vapor

- |   |   |
|---|---|
| <b>1</b> Suministro de tubería de vapor desde la caldera 1          | <b>7</b> Conector de reserva para consumidor adicional                                |
| <b>2</b> Tubería de vapor de la caldera 2                           | <b>8</b> Tubo manostático con indicador de presión (PI) y transmisor de presión (PIC) |
| <b>3</b> Conector de reserva para caldera adicional                 | <b>9</b> Tubo de condensados al depósito de condensados                               |
| <b>4</b> Salida de vapor al consumidor 1                            | <b>10</b> Drenaje   |
| <b>5</b> Línea de vapor de salida al consumidor 2                   |   |
| <b>6</b> Salida de vapor a la desaireación del agua de alimentación |   |

### 4.3.4 Almacenamiento de vapor

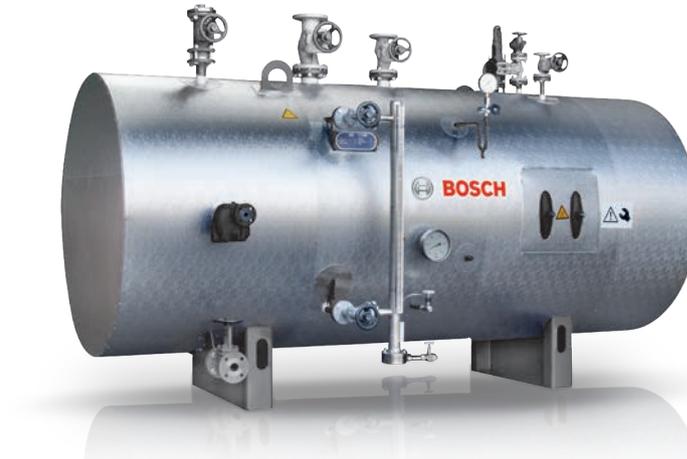
La finalidad del acumulador de vapor es almacenar una cantidad limitada de energía que estará disponible en forma de vapor de expansión cuando se reduzca la presión.

→ Tecnología – Capítulo 1.1.7: Vapor de expansión, página 106

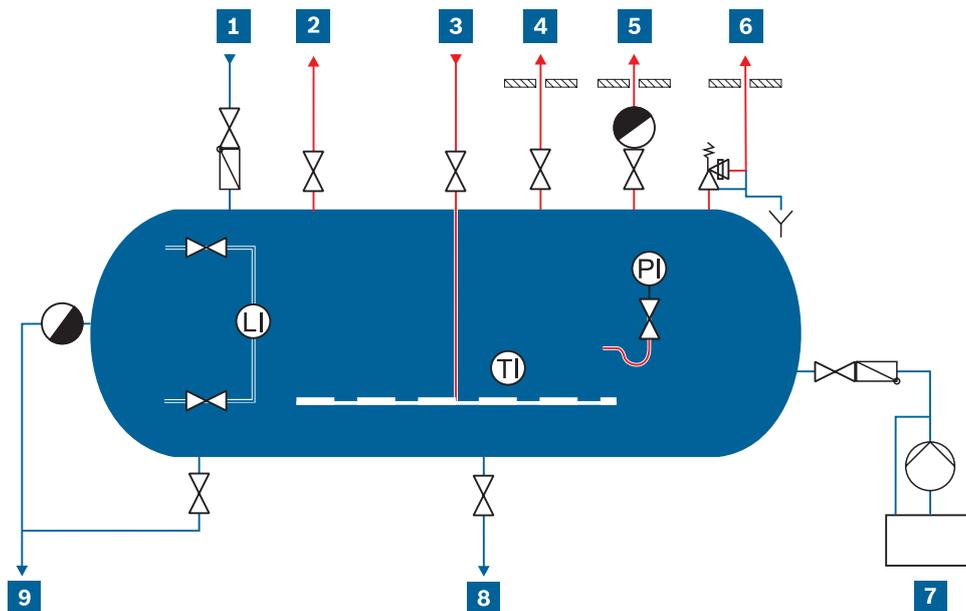


El acumulador de vapor tiene el siguiente campo de aplicación:

- Proporciona cobertura de picos de carga cuando se supera brevemente la capacidad de los generadores de vapor instalados (por ejemplo, durante los procesos de arranque de los consumidores, con autoclaves, unos pocos procesos de lotes grandes)
- Amortiguación de las fluctuaciones rápidas de carga de los consumidores con grandes demandas cíclicas de vapor (picos de consumo de vapor breves y recurrentes, procesos de lotes pequeños)



**Fig. 106** Visualización de un módulo acumulador de vapor



**Fig. 107** Representación esquemática de tuberías, módulo acumulador de vapor SAM

- LI** Indicador de nivel  
**PI** Indicador de presión  
**TI** Indicador de temperatura

- |  |   |
|--|---|
| <b>1</b> Línea de alimentación               | <b>6</b> Línea de purga de seguridad        |
| <b>2</b> Tubería de vapor a los consumidores | <b>7</b> Dosificación de productos químicos |
| <b>3</b> Tubería de vapor de calentamiento   | <b>8</b> Línea de muestreo de agua          |
| <b>4</b> Línea de arranque                   | <b>9</b> Línea de drenaje y rebosadero      |
| <b>5</b> Conducto de purga de aire           |   |

Cuando se utiliza correctamente, un acumulador de vapor presenta las siguientes ventajas:

**Para la caldera:**

- Menor fluctuación de la presión de la caldera. Esto reduce la tensión mecánica y aumenta la vida útil del envoltorio de la caldera.
- Menor frecuencia de conmutación del sistema de combustión. Esto reduce las pérdidas por ventilación previa y aumenta la vida útil de la caldera.

**Para los consumidores:**

- Cubre picos de carga especialmente elevados. Por tanto, la caldera de vapor puede ser más pequeña
- Menos arrastre de agua. Esto conlleva una mejora de la calidad del vapor

El acumulador de vapor es un recipiente de paredes gruesas especialmente diseñado para soportar grandes esfuerzos de cambio de presión. Al igual que las calderas de vapor, también se somete a pruebas de presión periódicas por parte del organismo notificado autorizado.

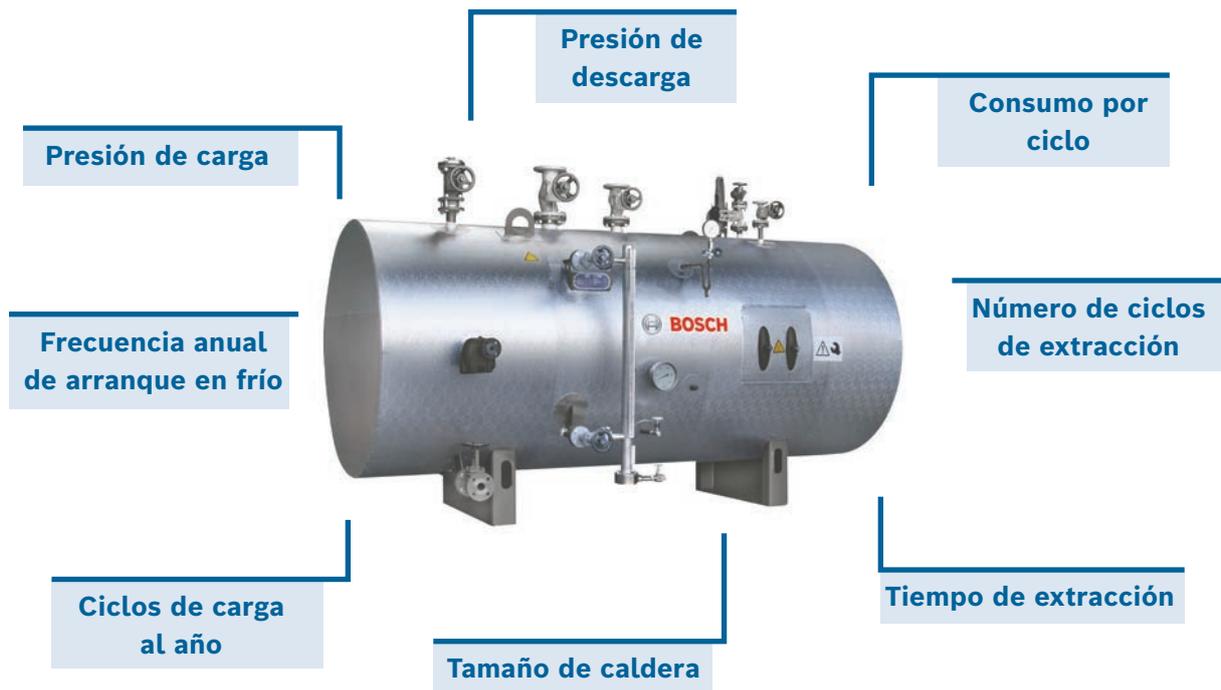
El acumulador de vapor se llena hasta el 50% de su capacidad con agua hirviendo y se calienta hasta la presión de carga con vapor de la caldera.

El acumulador se descarga abriendo las válvulas de cierre del lado del consumidor. Esto reduce la presión en el acumulador. Debido a la reducción de la presión, parte del agua hirviendo se evapora produciendo lo que se denomina vapor de expansión. Cuanto mayor sea el contenido de agua del acumulador y mayor sea la reducción de presión, más vapor se producirá.

→ Tecnología – Capítulo 1.1.7: Vapor de expansión, página 106

Al volver a calentar se suministra al acumulador la misma cantidad de vapor que se extrajo anteriormente. Por tanto, normalmente no es necesario suministrar agua de alimentación adicional al acumulador de vapor durante el funcionamiento.

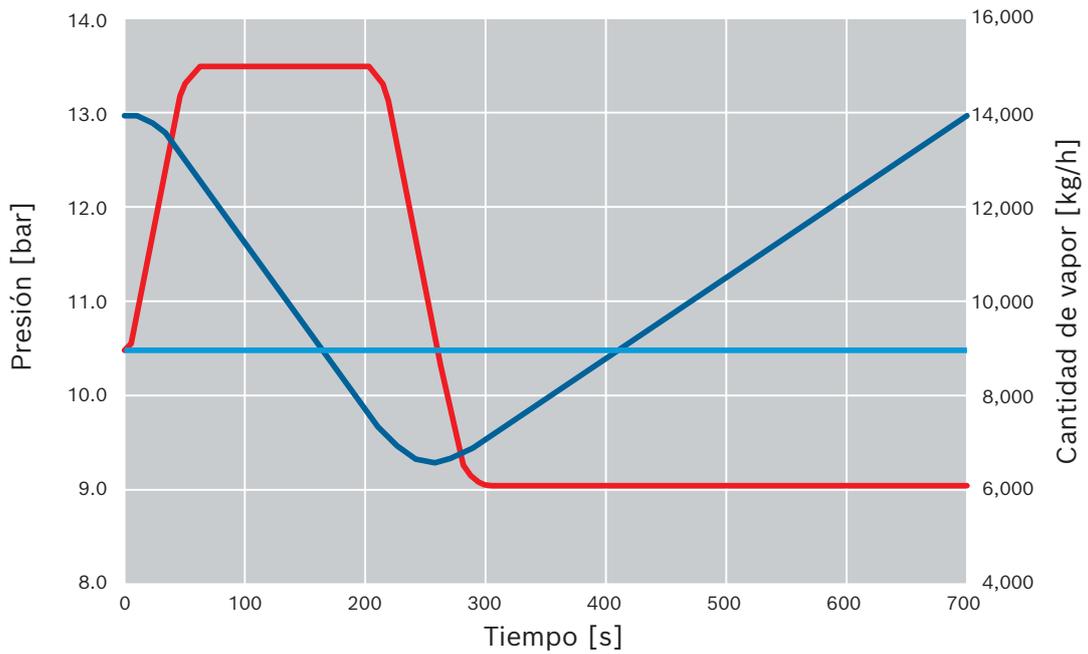
La viabilidad de utilizar un acumulador de vapor puede estudiarse al planificar nuevos sistemas de calderas y también como medida de reequipamiento para mejorar los procesos existentes. Al utilizar acumuladores de vapor, debe prestarse especial atención a la integración global en el sistema de vapor, desde la caldera de vapor hasta el consumidor, ya que la única forma de aprovechar plenamente las ventajas es garantizando una interacción óptima de todos los componentes. La siguiente figura muestra qué parámetros del proceso y del sistema son decisivos para el acumulador de vapor.



**Fig. 108** Parámetros que influyen en la planificación y el dimensionamiento de un acumulador de vapor

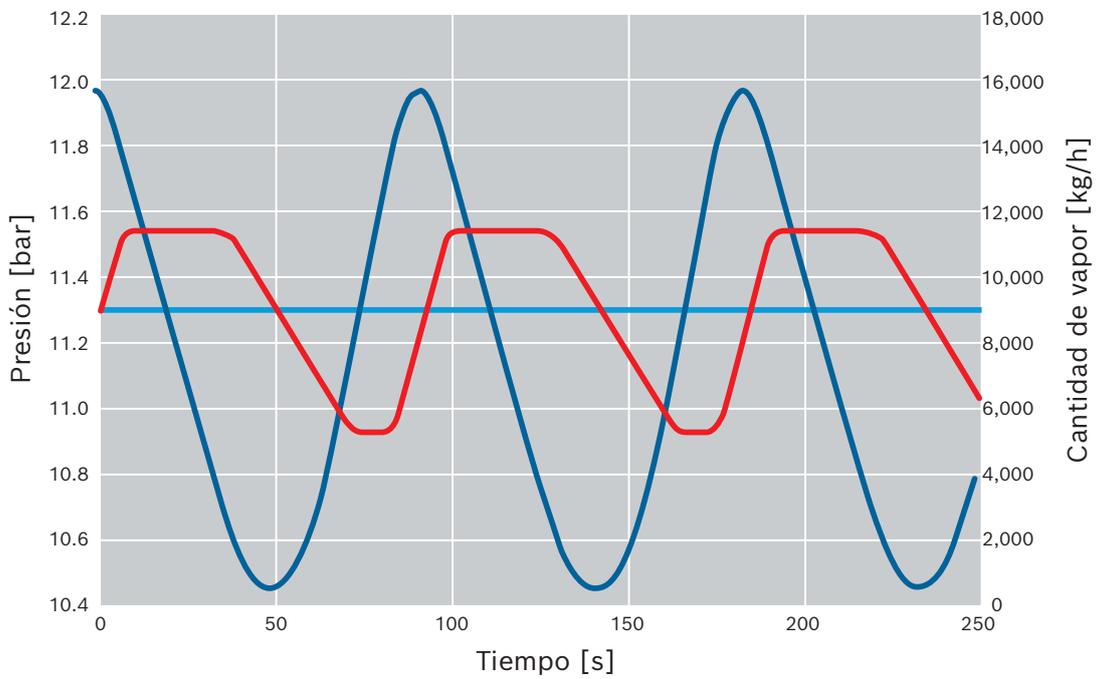
Superación de la potencia instalada del generador de vapor (ejemplo 1)	Amortiguación de una demanda cíclica de vapor (ejemplo 2)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caldera 9.000 kg/h</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caldera 9.000 kg/h</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pico de consumo 15.000 kg/h, aproximadamente 350 kg en total durante un periodo de 260 s</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pico de consumo 11.500 kg/h, aproximadamente 28 kg en total por pico durante un periodo de 51 s, repetido cada 92 s</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acumulador de vapor de 20 m<sup>3</sup> lleno de agua al 65 % de su capacidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acumulador de vapor de 5 m<sup>3</sup> lleno al 50 % de su capacidad con agua</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se permite un contenido de humedad residual en el vapor de hasta el 5%.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contenido de humedad residual en el vapor &lt; 2</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acumulador cargado después de 700 s</li> </ul>	-
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presión de carga del acumulador 13 bar y descarga ≤ 9.3 bar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presión de carga del acumulador 12 bar y descarga ≤ 10.5 bar</li> </ul>
Cálculo simplificado e idealizado	Cálculo simplificado e idealizado

**Tab. 15** Ejemplos de aplicaciones de un acumulador de vapor



**Fig. 109** Progresión de la presión en un acumulador de vapor (ejemplo 1)

- Presión en el acumulador de vapor
- Vapor extraído por los consumidores
- Salida de vapor de la caldera



**Fig. 110** Progresión de la presión en un acumulador de vapor (ejemplo 2)

- Presión en el acumulador de vapor
- Vapor extraído por los consumidores
- Salida de vapor de la caldera



## 4.4 Gestión de condensados

Cuando se utiliza vapor para el calentamiento indirecto en intercambiadores de calor, también se forma condensado que, siempre que sea posible, debe devolverse al circuito de la caldera de vapor o utilizarse para otro fin.

La reutilización del condensado acumulado es una de las medidas clave que pueden adoptarse para garantizar un funcionamiento rentable y energéticamente eficiente de un sistema de calderas.

El condensado tiene dos características que lo hacen especialmente valioso:

- **Altas temperaturas**

El condensado que sale del intercambiador de calor suele estar ligeramente subenfriado, es decir, a alta temperatura. Al recircular el condensado, este contenido energético permanece en el sistema y no tiene que gastarse de nuevo.

- **Agua tratada**

El condensado ya es agua tratada sin dureza y de baja conductividad. Por tanto, devolver el condensado al circuito de vapor ahorra agua de reposición. Esto significa que se requiere menos ablandamiento o desmineralización del agua, lo que reduce la cantidad de energía y productos químicos utilizados, y que estos sistemas de tratamiento pueden dimensionarse más pequeños desde el principio.

El condensado puede reutilizarse de diferentes maneras:

- **Como agua de alimentación de caldera precalentada.**

devolviéndola al depósito de agua de alimentación a través de tuberías y depósitos de condensado o introduciéndola directamente en la caldera.

- **Como agua caliente.**

para el calentamiento de procesos a bajo nivel de temperatura, por ejemplo para la limpieza.

- **Como vapor.**

utilizando el vapor de expansión en una red secundaria de vapor a baja presión para los consumidores que requieren temperaturas más bajas.

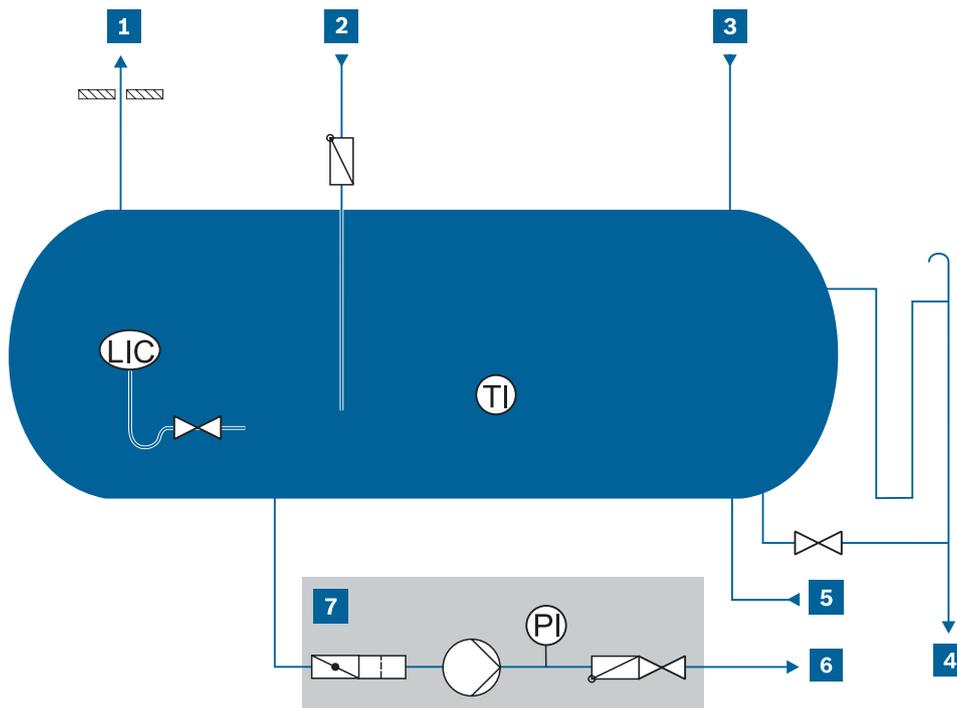
Antes de poder reutilizar el condensado, primero hay que comprobar que no esté contaminado y recogerlo en un depósito. Esto puede hacerse en un sistema de recogida de condensados abierto o cerrado.

→ Tecnología – Capítulo 4.5: Control de calidad de agua, página 203

Las diferencias entre los dos sistemas se destacan en el cuadro siguiente:

	<b>Sistema abierto Condensado de baja presión</b>	<b>Sistema cerrado Condensado de alta presión</b>
<b>Tipo de recipiente</b>	Recipiente de baja presión (0.5 ... 1 bar) conectado a la atmósfera a través de un conducto de purga de aire	Recipiente de alta presión  Presión en el recipiente mantenida por vapor de calentamiento o regulador de rebose
<b>Oxígeno en el condensado</b>	Condensado oxigénico  (en contacto con el oxígeno atmosférico, es necesaria una nueva desaireación)	Condensado sin oxígeno
<b>Temperatura del condensado cuando se devuelve</b>	≤ 100 °C	> 100 °C
<b>Recirculación</b>	A través del depósito de agua de alimentación	Bombas de alimentación de alta temperatura
<b>Transporte del condensado</b>	Bombas de condensado	No necesarias
<b>Nubes de vapor</b>	Posible  (especialmente con alta temperatura de condensado de los consumidores)	Ninguna
<b>Integración del sistema</b>	Sencillo	Más complejas
<b>Costes de inversión</b>	Bajo	Mayor
<b>Ahorro de energía</b>	Bajo	Alta
<b>Material de las tuberías</b>	Acero inoxidable	Acero
<b>Uso de condensado</b>	Agua de alimentación de caldera  (recirculación al depósito de agua de alimentación para desaireación)	Agua de alimentación de la caldera (recirculación directa en la caldera)  Agua caliente
<b>Uso de vapor de expansión</b>	Principalmente no utilizada  En intercambiador de vapores de escape para precalentamiento de agua de reposición o de proceso	En la red de vapor de baja presión  Para calentar el depósito de agua de alimentación

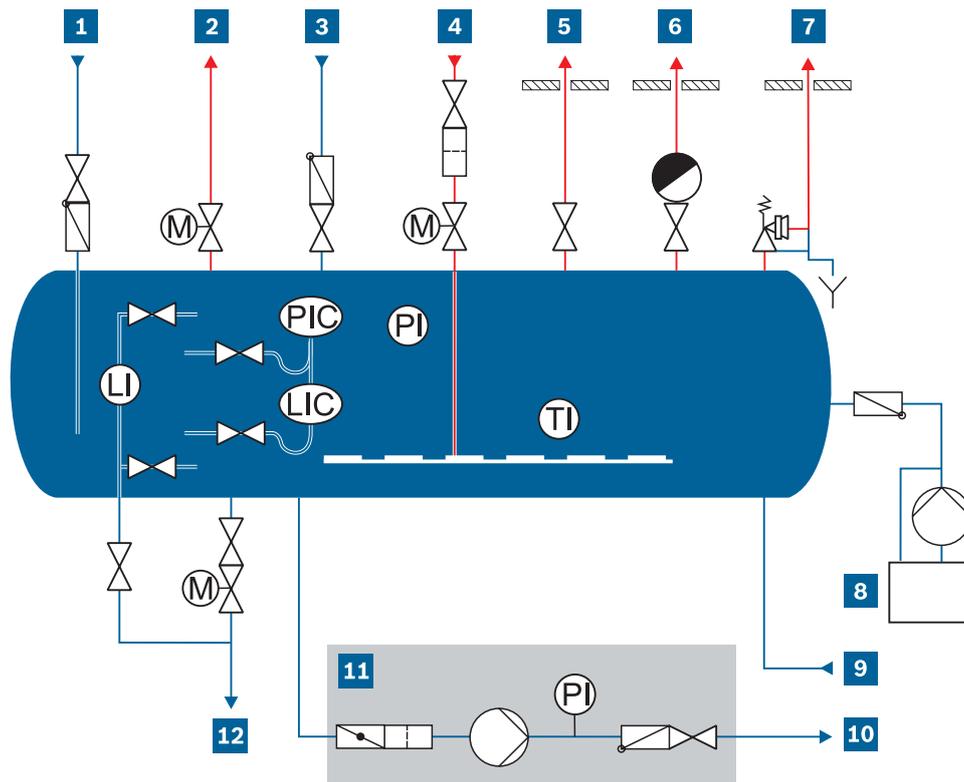
**Tab. 16** Comparación de distintos sistemas de recogida de condensados



**Fig. 111** Esquema del depósito de condensados - baja presión

**LIC** Regulador de nivel  
**TI** Indicador de temperatura  
**PI** Indicador de presión

- |  |  |
|--|--|
| <b>1</b> Conducto de purga de aire   | <b>5</b> Tubería de derivación de la bomba |
| <b>2</b> Tubería de condensados que conduce directamente al módulo de agua de alimentación | <b>6</b> Línea a caldera                   |
| <b>3</b> Tubería de condensados, sin presión   | <b>7</b> Módulo de la bomba de condensados |
| <b>4</b> Tubería de desagüe y rebosadero   |  |



**Fig. 112** Esquema del depósito de condensados - alta presión

**LI** Indicador de nivel  
**LIC** Regulador de nivel  
**M** Motor  
**PI** Indicador de presión  
**PIC** Regulador de presión

- |  |   |
|--|---|
| <b>1</b> Línea de alimentación de condensado de alta presión | <b>7</b> Línea de purga de seguridad                    |
| <b>2</b> Línea de descarga de vapor de desbordamiento        | <b>8</b> Dosificación química                           |
| <b>3</b> Línea de alimentación de agua de reposición         | <b>9</b> Tubería de derivación de la bomba              |
| <b>4</b> Tubería de vapor de calentamiento                   | <b>10</b> Línea a caldera                               |
| <b>5</b> Línea de arranque                                   | <b>11</b> Módulo de bomba de condensado de alta presión |
| <b>6</b> Línea de purga de aire                              | <b>12</b> Línea de drenaje                              |



## 4.5 Control de calidad de agua

La calidad del agua es un factor crítico para el funcionamiento seguro y sin problemas de un sistema de calderas de vapor.

Debe controlarse en las siguientes áreas:

- Caldera
- Agua de alimentación
- Agua de reposición
- Condensado

Por eso se realizan tanto controles continuos durante el proceso como inspecciones periódicas de la calidad del agua en diversos puntos del sistema:

- En la caldera (mediante análisis de pH, conductividad y oxígeno)
- En el agua de alimentación (mediante análisis de pH, conductividad y oxígeno)
- En el agua de reposición (mediante análisis de ácido silícico y análisis continuo de la dureza)

→ Tecnología – Capítulo 2.2: Equipamiento y control, página 121

### 4.5.1 Condensado

Al recircular el condensado, existe el peligro de que el condensado contaminado por la entrada de producto en el intercambiador de calor entre en la caldera de vapor. Esto puede causar daños considerables que pueden evitarse controlando la calidad del agua. Para ello hay que distinguir entre sustancias:

- que afectan a la conductividad eléctrica del condensado y se controlan mediante electrodos de conductividad
- que provocan turbidez o refracción de la luz, que se controla con un turbidímetro

### 4.5.2 Control de la conductividad

La invasión de materias extrañas en el sistema de condensado que aumentan la conductividad puede detectarse y señalarse de forma rápida y fiable mediante un sistema de control de la conductividad (por ejemplo, álcalis, ácidos, agua dulce, agua de baños hirviendo). Las medidas necesarias se introducen automáticamente. Estos sistemas funcionan con compensación automática de temperatura para garantizar que las fluctuaciones de temperatura no provoquen mensajes de avería.

Se utilizan en sistemas de calderas de vapor, por ejemplo, para controlar el condensado o el agua de alimentación.

Si se supera la conductividad en el condensado de aproximadamente 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , el condensado debe desecharse inmediatamente (por ejemplo, mediante una válvula de tres vías). De este modo se excluye la posibilidad de contaminación del agua de alimentación, y posteriormente también de la caldera de vapor, antes de que entre en el depósito de agua de alimentación. Por lo tanto, no es necesario interrumpir el funcionamiento de la caldera y la localización de averías en el sistema de condensado o en los intercambiadores de calor puede realizarse sin presión de tiempo. No obstante, debe tenerse en cuenta que el sensor de conductividad detecta todos los flujos de condensado.

### 4.5.3 Control de la dureza residual

El agua descalcificada se controla mediante un dispositivo de control de la dureza residual. Una regeneración deficiente o un funcionamiento excesivo del descalcificador podrían provocar la invasión de dureza en los componentes posteriores del sistema. Para evitarlo, la dureza residual se controla de forma continua o intermitente.

Si se supera el límite de 0.01 mmol/l durante un periodo determinado, aparece automáticamente una indicación de avería para proteger los componentes posteriores del sistema.

### 4.5.4 Control de la turbidez

Si existe el riesgo de que penetren aceites, grasas u otras emulsiones en el sistema de condensado, debe instalarse un sistema de control de la turbidez, además de un sistema de control de la conductividad. El contenido en partículas de materias extrañas se controla continuamente mediante métodos de medición óptica. Si es posible, debe instalarse antes del depósito de condensado, ya que el vapor fresco o la reevaporación pueden afectar a la medición. Si supera el valor establecido, tiene sentido desechar el condensado hasta que la turbidez vuelva a caer por debajo del valor establecido.

### 4.5.5 Análisis continuo del agua



**Fig. 113** Analizador de agua WA

El buen funcionamiento de la caldera depende de la buena calidad del agua. El dispositivo de análisis del agua mide y controla continuamente los siguientes parámetros:

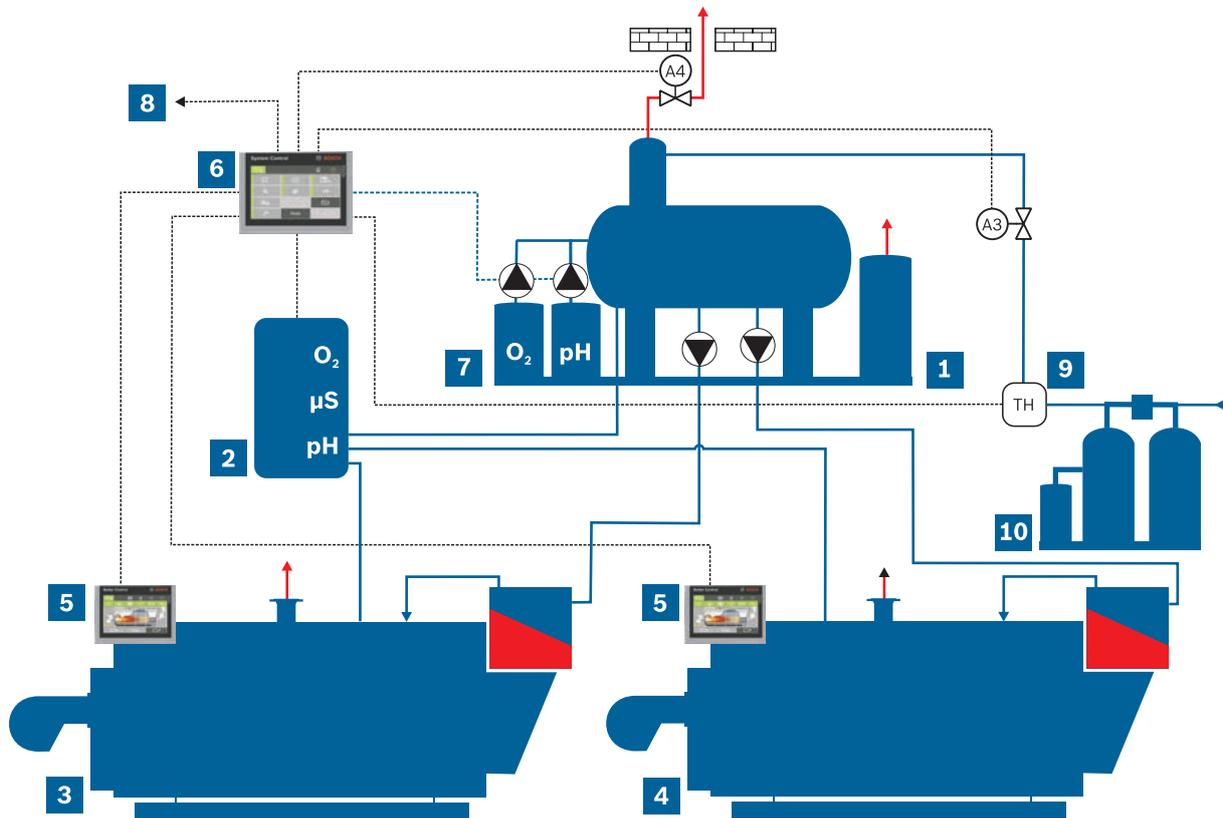
- Valor del pH en el agua de la caldera
- Valor del pH, contenido de oxígeno y conductividad en el agua de alimentación de la caldera
- Valor del pH y conductividad del condensado o contenido de agua del acumulador de vapor

Todos los datos se transfieren a la SCO de control del sistema a través del sistema de bus. Todos los parámetros relevantes del agua, junto con la conductividad del agua de la caldera y las conductividades de los flujos de condensado individuales, están disponibles en el control del sistema SCO. Las tareas de control basadas en la demanda pueden realizarse de forma totalmente automática. Cuando se superan los límites definidos, todos los parámetros se transfieren a la memoria de averías del control de sistema SCO del control de planta. Los datos también se pueden registrar de forma continua. Estos pueden transferirse a través del sistema de bus a un sistema de control de nivel superior para su procesamiento.



Las funciones del analizador de agua son:

- Activación continua del sistema de dosificación de ligante de oxígeno
- Activación continua del sistema de dosificación para la alcalinización
- Activación de la válvula de vapor de escape con indicación de la energía de vapor de escape ahorrada [kWh].



**Fig. 114** Representación esquemática del principio de funcionamiento del tratamiento del agua

- |   |   |
|---|---|
| <b>1</b> Módulo de servicio de agua WSM-V | <b>6</b> Control del sistema SCO        |
| <b>2</b> Analizador de agua WA            | <b>7</b> Dosificación química           |
| <b>3</b> Caldera de vapor 1               | <b>8</b> Sistema de automatización      |
| <b>4</b> Caldera de vapor 2               | <b>9</b> Softcontrol TH (opcional)      |
| <b>5</b> Control de caldera BCO           | <b>10</b> Módulo de tratamiento de agua |

→ Productos – Capítulo 4.15: Analizador de agua WA, página 357

## 4.6 Sistema de control SCO

**Sistema de control SCO** para el control del sistema de calderas

El control del sistema SCO combina los controles de las calderas de vapor y/o de agua caliente, así como los controladores de módulos individuales, en un sistema de gestión de nivel superior y abre un amplio abanico de nuevas posibilidades. Los BCO de control de caldera individuales, cualquier control adicional y el SCO se comunican a través de un sistema de bus de alto rendimiento. De este modo, no es necesario realizar complejos trabajos de cableado ni aislar las señales. La conexión a sistemas de visualización y automatización de nivel superior puede establecerse a través de diversos protocolos de sistemas de automatización, como Profibus, Modbus TCP/IP y BACnet. Como opción, el sistema puede supervisarse a distancia a través de MEC Remote.

### Construcción

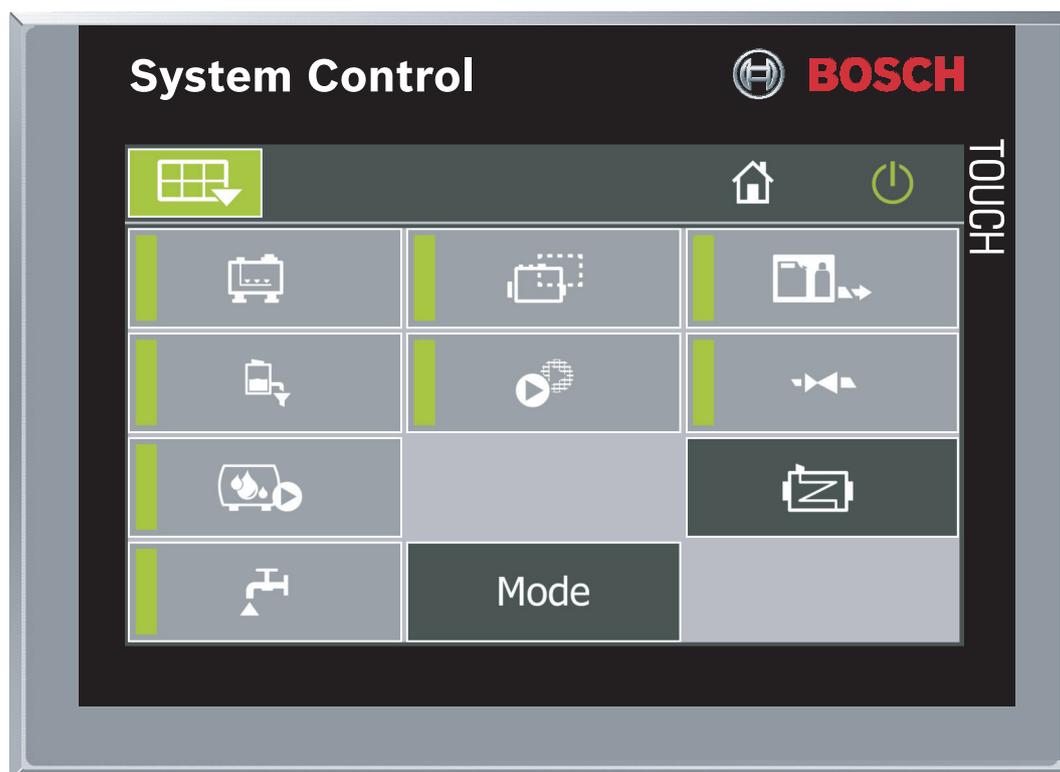
Control lógico programable de alto rendimiento con interfaz de operador como pantalla TFT en color con pantalla táctil.

### Equipamiento

- Control de secuencia de sistemas de calderas múltiples
- Integración de análisis de agua
- Integración de sistemas de desaireación
- Integración de sistemas de condensado
- Integración de sistemas de control de materias extrañas
- Integración de sistemas de suministro de aceite
- Gama extremadamente amplia de controles de presión y temperatura
- Control de bombas de reserva con cambio automático para varias calderas

### Ventajas a simple vista

- Interfaz sencilla con sistemas de visualización y automatización de nivel superior
- Funciones de supervisión y seguridad integradas para evitar el funcionamiento incorrecto
- Amplio almacenamiento de parámetros de funcionamiento y mensajes de estado del sistema
- Posibilidad de interconexión con MEC Remote: acceso a los parámetros de funcionamiento y a los mensajes de estado del sistema a través de un router VPN opcional
- Manejo intuitivo mediante símbolos gráficos y representaciones en pantallas táctiles



**Fig. 115** Control del sistema de componentes cruzados SCO - ejemplo de visualización

### **Control de agua WCO** para el control del módulo de servicio de agua

Este control especialmente económico para el módulo de servicio de agua ofrece todas las funciones básicas de control para sistemas de desaireación parcial o total.

### **Construcción**

El controlador lógico programable está equipado con una pantalla gráfica y de texto de fácil manejo y teclas de control. Está integrado en un armario de control y montado de forma permanente en el módulo de servicio de agua, con cableado completo para los sensores y actuadores.

### **Equipamiento, funciones estándar:**

- Control de presión o temperatura del sistema de desaireación
- Control de nivel del sistema de desaireación (multipaso o continuo, incluida la protección contra el secado por ebullición y la función de agua alta)
- Visualización de curvas de valores medidos (presión o temperatura, nivel)

### **Equipamiento, opcional**

- Control de la temperatura del módulo de purga, expansión y refrigeración BEM
- Control de la presión de pulverización para sistemas de desaireación por pulverización
- Indicador de temperatura del depósito de agua de alimentación
- Activación de la válvula de vapor de escape para evitar pérdidas de vapor de escape en modo de espera

### Ventajas a simple vista

- Atractiva relación calidad-precio para el control de un módulo de servicio de agua completo
- Manejo sencillo mediante pantalla de texto y gráfica con teclas de control
- Transferencia de datos a través de Ethernet o Profibus DP

### Master Energy Control MEC Remote para mantenimiento a distancia

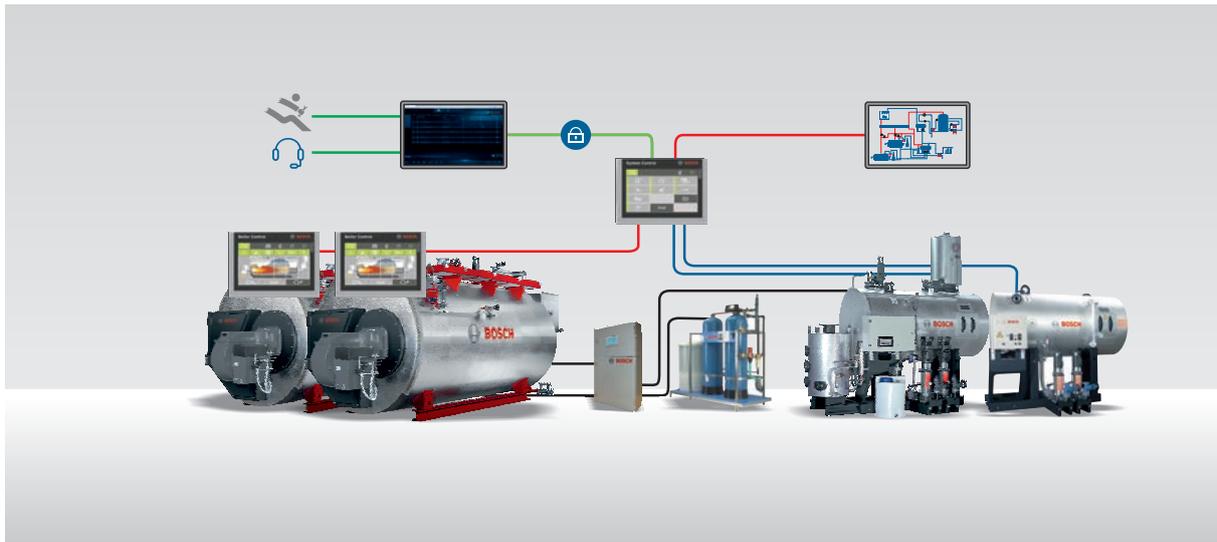
El sistema de telemantenimiento Bosch MEC Remote (Master Energy Control) es el sustituto del antiguo teleservicio para calderas industriales. Con él, el Servicio Industrial de Bosch tenía acceso directo a los sistemas de calderas.

Ahora, el nuevo MEC Remote también permite a los operadores supervisar sus sistemas a distancia de forma cómoda y fiable mediante dispositivos terminales estándar preparados para Internet.

MEC Remote es, por tanto, la solución ideal para las empresas:

- en los que el personal supervisor no pueda estar presente de forma continua
- con sistemas de calderas múltiples sujetos a supervisión obligatoria
- con servicio de reserva los fines de semana

Los controles de caldera de Bosch son compatibles con los sistemas de automatización disponibles en el mercado. MEC Remote también se puede utilizar con sistemas sin interfaz de sistema de automatización.



**Fig. 116** MEC Remote: acceso remoto para mantenimiento y visualización de datos del sistema

Gracias a un mapa general, también se pueden supervisar al mismo tiempo varios sistemas en todo el mundo. Si es necesario, el operador también puede ser notificado automáticamente a través del módulo SMS sobre anomalías y fallos en forma de un mensaje corto a su teléfono móvil. Esto reduce significativamente el esfuerzo de supervisión en sistemas con altos requisitos de fiabilidad (por ejemplo, durante el funcionamiento continuo).

→ Folleto sobre controles y conectividad



Otra ventaja para los operarios es la asistencia remota opcional que ofrece el Servicio Industrial de Bosch. Los expertos de Bosch pueden realizar ajustes avanzados de parámetros, programación (PLC) y localización de averías directamente a través del sistema de mantenimiento remoto. Cuando fallan componentes, los expertos del servicio técnico pueden analizar y reducir la causa a distancia y, a continuación, desplazarse con el equipo adecuado al lugar de funcionamiento. Esto puede reducir al mínimo los tiempos de inactividad de la caldera y los costes de servicio.

Uno de los requisitos más importantes de la conexión remota es la máxima seguridad. De ello se encarga el ingenioso concepto de roles que controla los derechos de acceso y las intervenciones de control autorizadas. El propio acceso remoto tiene un concepto de seguridad multinivel. La conexión de datos externa puede activarse o desactivarse en la sala de calderas en el lado del hardware mediante una clave.

Además del inicio de sesión con nombre de usuario y contraseña mediante transferencia de datos cifrada (https) se utiliza un procedimiento TAN móvil. Al igual que en la banca en línea, los datos de acceso se envían a través del teléfono móvil del operador. En lugar de almacenarse en una nube, los datos de funcionamiento de la caldera industrial se almacenan localmente en el sistema. Los conceptos de seguridad de MEC Remote fueron ideados por ESCRYPT GmbH. La empresa Cirosec GmbH realiza periódicamente auditorías de seguridad.



**Fig. 117** Armarios de control de los sistemas SCO y MEC



0.5 MPa - 20°C  
DEMINODA  
171 (GHCIUBRUCU)

BOS

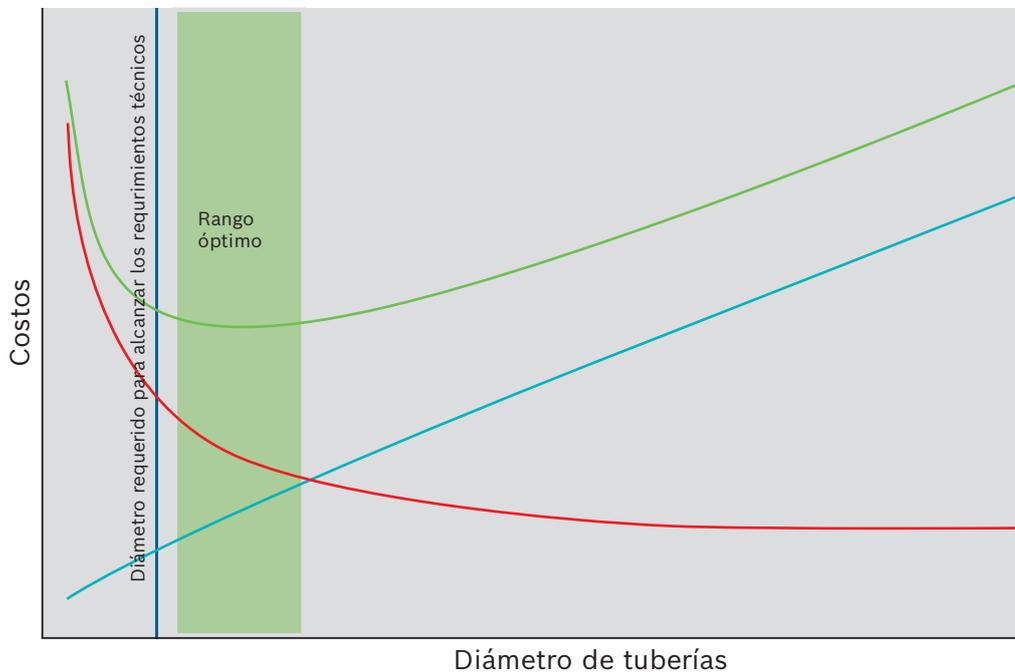


## 5 Periféricos

### 5.1 Tuberías

En la instalación de sistemas de tuberías, los términos diámetro nominal (DN) y presión nominal (PN) se utilizan para identificar las características de las tuberías con el fin de definir las piezas compatibles, por ejemplo, las conexiones de brida. El diámetro nominal y la presión nominal se normalizan en función del incremento geométrico.

A la hora de dimensionar las tuberías, es decir, definir el diámetro nominal y la presión nominal de las tuberías y válvulas, siempre hay que encontrar un equilibrio entre los requisitos técnicos, como mantener la pérdida de presión o de calor lo más baja posible, y los costes de inversión y de operación asociados. El equilibrio óptimo entre la inversión y los costes de operación es diferente para cada tubería y sistema. Debido a las características de la curva en el rango mínimo de los costes totales, dos diámetros nominales se encuentran a menudo dentro del rango óptimo.



**Fig. 118** Ejemplo de tendencia esquemática de costes para el dimensionamiento de tuberías

- Costes totales
- Costes de operación
- Costes de inversión

En el diseño de las tuberías deben observarse los siguientes pasos:

- Definir diámetro nominal
- Definir la presión nominal
- Seleccionar material
- Definir luces
- Considerar la dilatación térmica
- Tener en cuenta las características especiales del medio durante la instalación

Dado que para un análisis detallado habría que tener en cuenta muchos parámetros individuales específicos del sistema, técnicos y comerciales, las tuberías se diseñan normalmente para la velocidad de flujo admisible según principios económicamente sólidos y necesidades técnicas basadas en la experiencia. En función del medio y el uso, los valores recomendados han demostrado ser conformes a la práctica en muchos sistemas.

Medio	Campo de aplicación	Velocidad recomendada
<b>Vapor</b>	0 ... 1 bar	20 ... 25 m/s
	1 ... 40 bar	30 ... 40 m/s
<b>Agua</b>	Línea de aspiración	0.4 (0.25 ... 0.6) m/s
	Línea de presión	2 (1.5 ... 3) m/s
<b>Condensado</b>	Fracción de vapor	15 m/s
	Fracción de agua	2 m/s
<b>Gases de combustión</b>		16.5 m/s
<b>Aceite</b>	Lado de entrada de aceite combustible ligero	0.5 m/s
	Lado de descarga de fueloil ligero	1 m/s
	Toma de aceite pesado	0.3 m/s
	Lado de descarga de fueloil pesado	0.5 m/s
<b>Gas natural</b>		Sin especificaciones (diseño mediante pérdida de presión)

**Tab. 17** Velocidades de diseño estándar (velocidades recomendadas) para el dimensionamiento de tuberías

### Definición de diámetro nominal DN

Los diámetros nominales de la tabla siguiente se indican sin unidades. Corresponden aproximadamente al diámetro interior de la tubería en mm. Esto se debe a razones de producción, ya que las herramientas utilizadas en la fabricación de tuberías se definen a través del diámetro exterior y, por lo tanto, el diámetro interior claro varía en función del grosor de la pared. El diámetro nominal bastará normalmente como variable de cálculo para el dimensionamiento aproximado del diámetro interior.



Diámetro nominal DN	Diámetro exterior d <sub>1</sub> [mm]
6	10.2
8	13.5
10	17.2
15	21.3
20	26.9
25	33.7
32	42.4
40	48.3
50	60.3
65	76.1
80	88.9
100	114.3
125	139.7
150	168.3
200	219.1

Diámetro nominal DN	Diámetro exterior d <sub>1</sub> [mm]
250	273.0
300	323.9
350	355.6
400	406.4
450	457.0
500	508.0
600	610.0
700	711.0
800	813.0
900	914.0
1 000	1 016.0
1 200	1 219.0
1 400	1 422.0
1 600	1 626.0

**Tab. 18** Diámetro del tubo (EN 10255:2004+A1:2007, EN 1092-1:2013-04, Tabla A.1)

El diámetro nominal necesario puede calcularse de la siguiente manera:

$$DN \geq \sqrt{\frac{\dot{V} \cdot 4}{\pi \cdot u}} = \sqrt{\frac{\dot{m} \cdot 4}{\pi \cdot \rho \cdot u}}$$

**F20.** Ecuación para el cálculo del diámetro nominal requerido

- DN Diámetro nominal de la tubería [mm]
- $\dot{V}$  Caudal [m<sup>3</sup>/s]
- $\dot{m}$  Caudal másico [kg/h]
- $\rho$  Densidad [kg/m<sup>3</sup>]
- u Velocidad recomendada según tabla [m/s]

$$\sqrt{\frac{10,000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{3,600 \frac{\text{s}}{\text{h}}} \cdot 4} \cdot 1,000 \frac{\text{mm}}{\text{m}} = 138 \text{ mm} \leq \text{DN } 150$$

**B9.** Ejemplo de cálculo para determinar el diámetro nominal necesario

Para optimizar los diámetros nominales que han sido diseñados de acuerdo con una velocidad recomendada admisible, puede ser aconsejable en casos individuales, por ejemplo, si la tubería es muy larga, volver a calcular y optimizar el diámetro nominal de la tubería utilizando programas de diseño especiales.

### Definición de la presión nominal PN

La presión nominal es una etapa de presión normalizada para tuberías y válvulas. Representa un parámetro para las características mecánicas y dimensionales de un componente. Los componentes con el mismo diámetro nominal y la misma presión nominal son compatibles. La presión nominal corresponde a la presión positiva máxima admisible [bar] a una temperatura de referencia de 20 °C.

Sin embargo, además del material, la presión positiva máxima admisible de un componente depende ante todo de la temperatura. A temperaturas más elevadas, la presión de servicio máxima admisible desciende por debajo de la presión nominal. En ese caso, las tuberías o válvulas no pueden funcionar a la presión nominal.

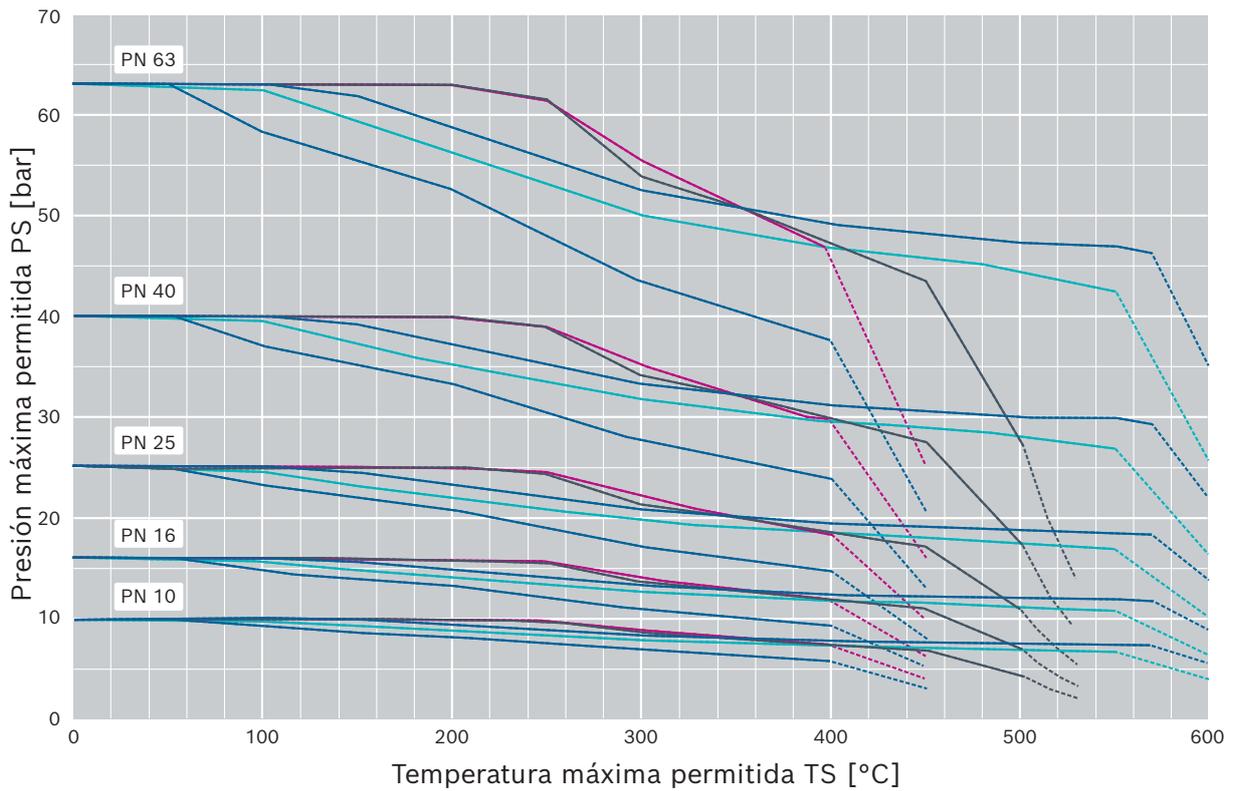
La asignación presión-temperatura de las bridas se basa en los grupos de materiales. En el ámbito de las calderas de vapor son habituales los siguientes materiales y grupos:

Grupo de materiales	Tipo de material	Número de material	Material
3E0	Aceros no aleados con características de resistencia garantizadas a temperaturas más elevadas	1.0352	P245GH
3E1	Aceros no aleados con características definidas $\leq$ 400 °C, límite elástico superior $>$ 265 N/mm <sup>2</sup> .	1.0460	P250GH
4E0	Aceros de baja aleación con 0.3 % de molibdeno	1.0426	P280GH
12E0	Contenido estándar de carbono, estabilizado con Ti o Nb	1.4541	X6CrNiTi18-10
		1.4550	X6CrNiNb18-10
		1.4941	X6CrNiTiB18-10
15E0	Contenido estándar de carbono, aleado con molibdeno, estabilizado con Ti o Nb	1.4571	X6CrNiMoTi17-12-2
		1.4580	X6CrNiMoNb17-12-2

**Tab. 19** Grupos de materiales según EN 1092-1:2013-04 Tabla 9, G.2.2, G.3.2, Tabla D.1

El siguiente diagrama muestra las curvas presión-temperatura para diferentes etapas de presión nominal. En este caso, observe también la información del capítulo Herramientas - Asignación presión-temperatura, que contiene las tablas para el diagrama.

→ Herramientas – Capítulo 5.4.2: Presión y temperatura nominales<sup>1)</sup>, página 408



**Fig. 119** Asignación presión-temperatura para bridas según EN 1092-1

- 3E0
- 4E0
- 15E0
- 3E1
- 12E0

**Definición del material**

La tabla siguiente sólo indica los requisitos mínimos para la selección de materiales. También pueden utilizarse otros materiales cuando se den condiciones de instalación especiales, requisitos del cliente o normativas nacionales o locales.

No deben utilizarse materiales que contengan cobre para ninguna tubería de entrada y salida de la caldera de vapor, en la zona de condensado y agua de reposición.



<b>Campo de aplicación</b>	<b>Material de las tuberías</b>
Tuberías de vapor	Acero o acero inoxidable con certificado de inspección
Tuberías de agua de alimentación	Acero
Tuberías de purga de la válvula de seguridad	Acero
Tuberías de ventilación y drenaje	Acero
Drenaje del asiento (válvula de seguridad)	Cobre o acero inoxidable
Agua descalcificada	Plástico (en frío) o acero inoxidable (tras calentamiento)
Agua osmotizada	Acero inoxidable

**Tab. 20** Requisitos mínimos para la selección de materiales

### Definición de tramos

Debe garantizarse, mediante un número suficiente y una construcción correcta de los soportes, que las tuberías no se deformen más allá de los límites aceptables debido a las fuerzas de peso (peso propio, contenido, válvulas y aislamiento) y a otras fuerzas que actúen sobre ellas (por ejemplo, en las deflexiones).

Los requisitos para las tuberías se explican en la norma EN 13480-3.

→ EN 13480-3

**Tuberías y bridas para agua y vapor**

DN	Ø válvulas	PN 40 S	Extensión máxima L1 <sup>1)</sup>
10	17.2	2.0	–
15	21.3	2.0	–
20	26.9	2.3	–
25	33.7	2.6	2.9
32	42.4	2.6	<b>3.2</b>
40	48.3	2.6	3.5
50	60.3	2.9	3.9
65	76.1	2.9	<b>4.7</b>
80	88.9	3.2	5.4
100	114.3	3.6	6.2
125	139.7	4.0	<b>6.9</b>
150	168.3	4.5	7.5
200	219.1	6.3	8.6
250	273	7.1	9.7
300	323.9	8.0	10.6
350	355.6	8.8	11.1
400	406.4	11.0	11.8
500	508	14.2	<b>12.5</b>
600	610	16.0	13.2

**Tab. 21** Tramos de tuberías (distancia entre soportes)

1) Requisitos para el tramo L1:

- Según EN13480-3:2014 - relleno de agua, espesor del aislamiento 80 mm
- Con adiciones por interpolación
- L1 limitación de desviación, hasta DN 50 = 3 mm de desviación, a partir de DN 65 = 5 mm de desviación
- Para más detalles, véase EN13480-3

**Expansión térmica**

Las sustancias se dilatan cuando se calientan y se contraen cuando vuelven a enfriarse.

Este efecto debe tenerse en cuenta en muchos puntos de un sistema de calderas, especialmente en lugares donde pueden producirse altas temperaturas durante el funcionamiento.

Por ejemplo, durante la planificación y la instalación deben tenerse en cuenta los siguientes puntos:

Ubicación	Uso de ... para absorber el alargamiento
Tuberías <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vapor</li> <li>• Gases de combustión</li> <li>• Purga de superficie/fondo</li> <li>• ...</li> </ul>	Compensadores de tuberías <ul style="list-style-type: none"> <li>• Patas de expansión (patas en L)</li> <li>• Codos de expansión</li> <li>• Codos en U (con tuberías rectas largas)</li> <li>• Cojinete de fricción</li> </ul>
Caldera y contenedor	Cojinetes de fricción en las patas y el bastidor  Juntas de dilatación y patas de dilatación en las tuberías de entrada y salida

**Tab. 22** Ubicación y tipos de medidas utilizadas para absorber la dilatación térmica

Para calcular la dilatación térmica lineal se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$\Delta l = l \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad \text{bzw.} \quad \frac{\Delta l}{l} = \alpha \cdot \Delta T$$



**F21.** Ecuación para calcular la dilatación térmica lineal

$\Delta l$	Expansión térmica lineal [mm]
$l$	Longitud [mm]
$\alpha$	Coefficiente de dilatación [mm/m]
$\Delta T$	Diferencia de temperatura [K]

#### Coeficientes de dilatación de distintos aceros

Acero de baja aleación (ferrítico):

$$\alpha \approx 1 \dots 1.3 \text{ [mm/m} \cdot 100\text{K]} = 10 \dots 13 \cdot 10^{-6} \text{ [1/K]}$$

Aceros inoxidables (austeníticos):

$$\alpha \approx 1 \dots 1.8 \text{ [mm/m} \cdot 100\text{K]} = 10 \dots 18 \cdot 10^{-6} \text{ [1/K]}$$

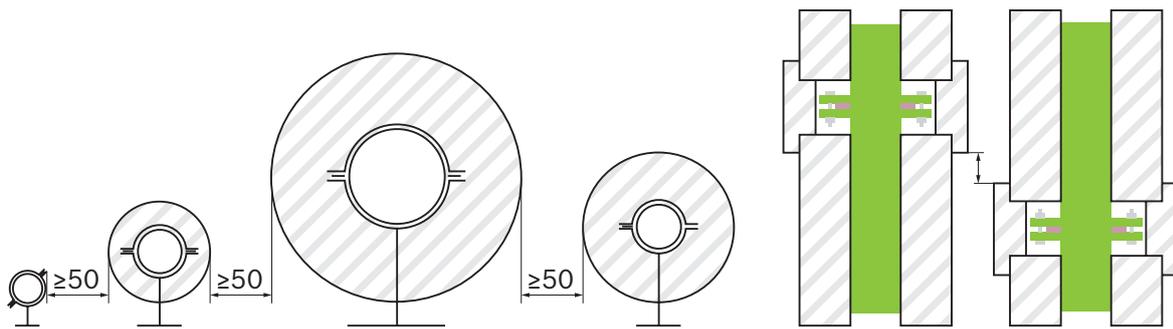


La longitud de la pata necesaria para absorber la dilatación térmica debe determinarse de acuerdo con los códigos generales de buenas prácticas.

**La longitud del tramo requerido para absorber la dilatación térmica debe determinarse de acuerdo con los códigos generales de buenas prácticas.**

Se debe mantener un espacio libre de al menos 50 ... 100 mm para instalar las tuberías y el aislamiento, así como para realizar reparaciones. La norma técnica de uso frecuente para trabajos de aislamiento DIN 4140 recomienda una holgura mínima de 100 mm.

Para minimizar las distancias, las conexiones de brida deben tener una disposición desplazada en los puentes de tuberías.



**Fig. 120** Distancias funcionales de las tuberías en los puentes de tuberías y disposición desplazada de las conexiones de brida

## 5.2 Tuberías de vapor

### Golpe de ariete de vapor o condensado

Si las tuberías de vapor o equipos como los intercambiadores de calor no se drenan lo suficiente, pueden producirse daños importantes como consecuencia del golpe de ariete.

Si el vapor caliente o el condensado caliente entran en contacto con agua fría, se produce la ruptura repentina de grandes burbujas de vapor. Esta implosión provoca una entrada de agua que choca consigo misma y provoca picos de alta presión.

El golpe de ariete se produce principalmente por un drenaje insuficiente del condensado, una instalación inadecuada o dispositivos defectuosos y un funcionamiento incorrecto.



### Desagüe

Debido a la pérdida de calor en las tuberías, se acumula condensado que debe recogerse y eliminarse. Por lo tanto, debe haber una pendiente suave de 5 ... 10 mm por m de longitud de tubería, es decir, 0.5 ... 1 %, en la dirección de flujo para permitir que el condensado fluya hacia las conexiones de drenaje.

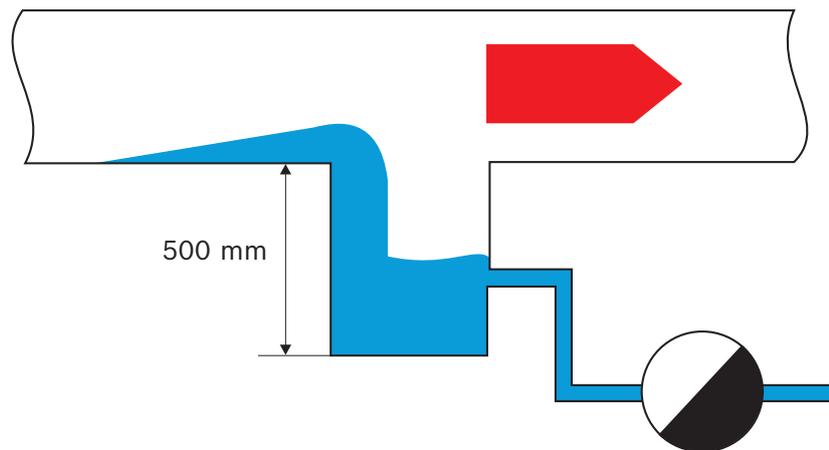
Las conexiones de drenaje se instalan de la siguiente manera:

- En tuberías rectas regularmente cada 30 ... 50 m
- Antes de cada punto de estancamiento (por ejemplo, válvulas o tramos verticales de tuberías)

Estas deben ser capaces de eliminar y recoger el condensado en las tuberías para que pueda ser evacuado por los desagües. Con diámetros nominales de hasta DN 100, las conexiones de evacuación deben construirse con el mismo diámetro nominal que la tubería de vapor para permitir que también se recoja el condensado que se forma al arrancar. Con diámetros mayores, los diámetros nominales de las conexiones de recogida pueden ser menores que el diámetro nominal de la tubería de vapor. Las conexiones colectoras deben tener una longitud de 500 mm y las tuberías de condensado deben fijarse al lateral para evitar que la suciedad afecte el purgador de condensados. Además, el condensado no debe verterse a la atmósfera debido a su importante entalpía, sino que debe transportarse a través de una tubería colectora hasta el depósito de agua de alimentación, donde puede reutilizarse.

La cantidad de condensado que debe evacuarse se relaciona, a través de la entalpía de evaporación, con las pérdidas de calor en las tuberías, válvulas y otros componentes incorporados para el tramo de tubería correspondiente.

→ Planificación – Capítulo 3.1: Cálculo del consumo, página 36



**Fig. 121** Conexiones de desagüe

## 5.3 Líneas de agua

### Línea de presión

En general, no hay características especiales que deban observarse en el caso de las tuberías de presión. Ocasionalmente, una velocidad de flujo de  $\leq 5$  m/s es aceptable en tramos cortos de tuberías, siempre que se tomen otras medidas para excluir el peligro de golpes de ariete.

#### Golpe de ariete

Los golpes de ariete se producen sobre todo al cerrar válvulas en tuberías que transportan líquido. La desaceleración de la columna de agua en movimiento y la baja compresibilidad de los líquidos provocan picos de presión debido al llamado "golpe de Joukowski".

Los fuertes golpes de ariete pueden reducirse o evitarse por completo aumentando el tiempo de cierre de la válvula y reduciendo la velocidad del flujo.

Si se utilizan válvulas de accionamiento eléctrico (tiempo de cierre normalmente  $> 30$  segundos) y se respetan las velocidades recomendadas para las tuberías ( $\rightarrow$  Tab. 17, página 212) no se producirán picos de presión inaceptablemente altos debidos al golpe de ariete.



### Línea de aspiración

Las tuberías situadas en el lado de entrada de las bombas se denominan conductos de aspiración. En este caso, es especialmente importante garantizar que la pérdida de presión sea baja para evitar una posible cavitación en la bomba. Esto es especialmente importante en las tuberías en las que se transporta agua caliente ligeramente por debajo del punto de ebullición (por ejemplo, agua de depósitos de agua de alimentación o de condensados). Estas tuberías se dimensionan para una velocidad de flujo baja y se mantienen lo más cortas posible (unos pocos metros) para minimizar las pérdidas de presión.



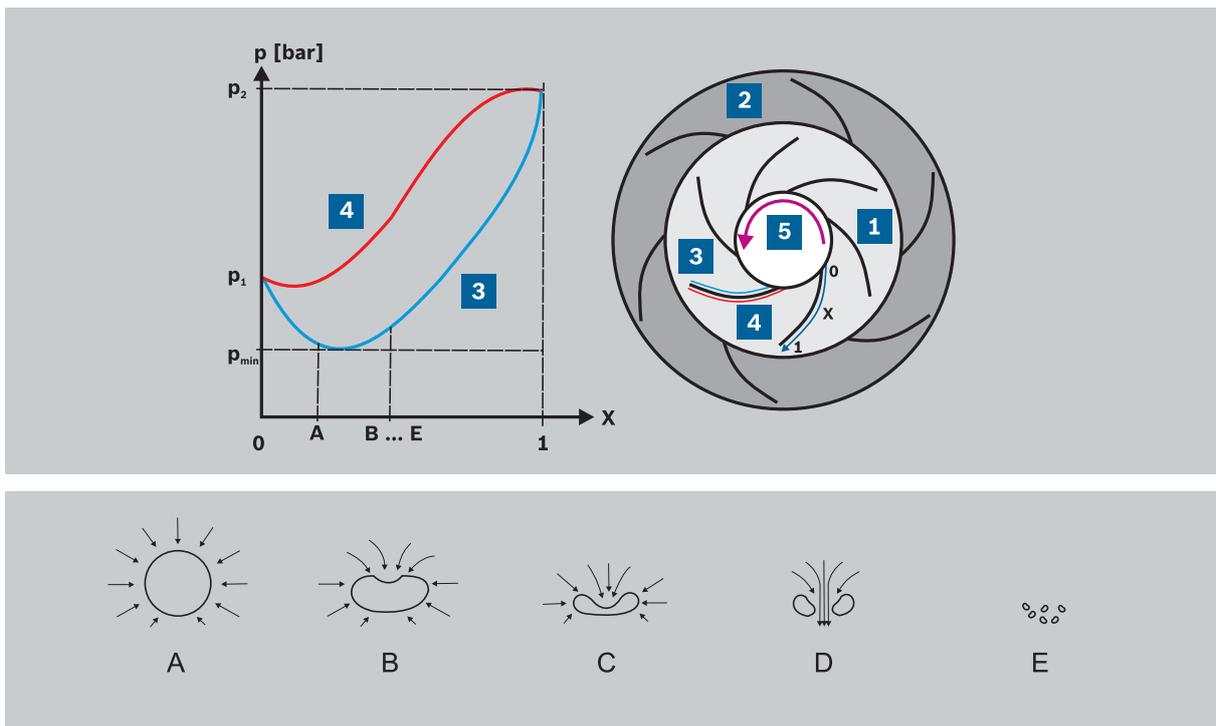
### Cavitación

La cavitación (en latín: *cavitare* = ahuecar) se produce como resultado de la formación y ruptura de pequeñas burbujas de vapor en los líquidos.

Las burbujas de vapor se producen en lugares donde la presión estática es baja, como detrás de los impulsores de las bombas centrífugas. Si la presión estática cae por debajo de la presión de vapor del líquido, se forman burbujas que implosionan poco después. Cuando esto ocurre, se produce un chorro de agua que golpea el álabe de la bomba a gran velocidad. Debido a las elevadas tensiones de compresión, el material se endurece inicialmente y posteriormente se descascarilla, formando agujeros irregulares en los álabes que continúan erosionándose y acaban destruyendo el impulsor.

El denominado valor NPSH (altura neta positiva de aspiración) de una bomba centrífuga especifica la altura aguas arriba del agua en ebullición necesaria para evitar que se produzca cavitación en los impulsores. Las bombas de alimentación de las calderas de vapor suelen estar equipadas con bombas de "baja NPSH" que sólo requieren una altura aguas arriba de aproximadamente 0.4 ... 1.2 m en el rango de funcionamiento.

Cada bomba debe tener su propia tubería para evitar efectos recíprocos.



**Fig. 122** Cavitación - flujo a lo largo del impulsor de la bomba y colapso de las burbujas de gas

- |                                       |                                   |
|---------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>1</b> Rodete                       | <b>4</b> Lado de presión, rodete  |
| <b>2</b> Rueda guía                   | <b>5</b> Sentido de rotación      |
| <b>3</b> Lado de aspiración, rodete   |                                   |
| <b>A</b> Burbuja única                | <b>D</b> Microchorro              |
| <b>B</b> Inicio del aplanamiento      | <b>E</b> Burbuja de gas colapsada |
| <b>C</b> Colapso de la burbuja de gas |                                   |

## 5.4 Tuberías de condensado

### Trazado de tuberías

Se recomienda instalar las tuberías de condensado con una pendiente continua de al menos el 1 % en la dirección del flujo para permitir que el condensado líquido se drene fácilmente y que los intercambiadores de calor y las tuberías se vacíen. Esto facilita el proceso de puesta en marcha del intercambiador de calor y reduce el peligro de corrosión.

En particular, deben evitarse las bolsas de agua, ya que pueden provocar golpes de ariete, sobre todo al poner en marcha el intercambiador de calor.

Las secciones verticales en las tuberías de condensado son posibles. Además de la pérdida de presión hidrostática, en este caso también deben tenerse en cuenta las pérdidas de presión por flujo superior. De todos modos, las secciones horizontales deben estar inclinadas y en los puntos más bajos deben preverse salidas adecuadas para el condensado de líquido frío o el drenaje de puesta en marcha.

Dado que el condensado normalmente no se acumula a una altura suficiente por encima del depósito de agua de alimentación, debe recogerse en depósitos de condensados y recircularse mediante bombas/sifones de condensados.

### Dimensionamiento

Las tuberías de condensado no deben tratarse en ningún caso de la misma manera que las tuberías que sólo transportan agua. Dado que el volumen aumenta considerablemente durante la reevaporación, en el dimensionamiento deben tenerse en cuenta tanto la fracción de vapor como la de agua.

Si el área de la sección transversal requerida se reduce considerablemente, puede producirse la erosión de las gotas de agua en válvulas y codos debido a la elevada velocidad de flujo resultante.

La superficie necesaria para la fracción de vapor y la fracción de agua se obtienen a partir de las densidades correspondientes, los caudales máscicos y las velocidades recomendadas.

#### Erosión por gotas de agua

La erosión por gotas de agua, también conocida como impacto de gotas, se refiere al desgaste erosivo por gotas de líquido. La erosión por gotas de agua es un golpe de ariete microscópico.

Se produce cuando las gotas golpean una superficie a gran velocidad. Aunque el agua tiene un aspecto "blando", las gotas tienen un efecto erosivo abrasivo debido a su incompresibilidad, alto impulso e inercia. Esto provoca un desgaste de las superficies por exposición continua.



$$A_{\text{req,S}} = \frac{\dot{m}_{\text{Co}} \cdot x_{\text{ES}}}{\rho'' \cdot u_{\text{Co,S}}}$$

$$A_{\text{req,W}} = \frac{\dot{m}_{\text{Co}} \cdot (1 - x_{\text{ES}})}{\rho' \cdot u_{\text{Co,W}}}$$



**F22.** Ecuación para calcular la sección transversal necesaria de las tuberías



Reordenando la ecuación para que el diámetro sea el sujeto, se obtiene lo siguiente:

$$DN \geq \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot A_{req}}$$

$$DN = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \dot{m}_{Co} \cdot \left( \frac{x_{ES}}{\rho'' \cdot u_{perm,S}} + \frac{(1-x_{ES})}{\rho' \cdot u_{perm,w}} \right)}$$

**F23.** Ecuación para calcular el diámetro nominal necesario de las tuberías

DN	TT
$\dot{m}_{Co}$	Caudal másico, condensado [kg/s]
$x_{ES}$	Relación del vapor de expansión al expandirse a la presión del recipiente [kg/kg]
$\rho''$	Densidad del vapor saturado a la presión del recipiente [kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho'$	Densidad del agua en ebullición a la presión del recipiente [kg/m <sup>3</sup> ]
$u_{Co,S}$	Velocidad recomendada de la fracción de vapor [15 m/s]
$u_{Co,w}$	Velocidad recomendada de la fracción de agua [2 m/s]
$A_{req}$	Sección transversal requerida de las tuberías [m <sup>2</sup> ] [kg/m <sup>3</sup> ] Velocidad recomendada de la fracción de vapor [15 m/s]
$A_{req,S}$	Sección de tubería necesaria, fracción vapor
$A_{req,w}$	Sección de tubería necesaria, fracción de agua

Ejemplo:

$T_{Co} = 130 \text{ °C}$	Temperatura del condensado antes de la expansión
$p_{Co-tank} = 0.2 \text{ bar}$	Temperatura del condensado antes de la expansión
$x_{ES} = 5.0 \text{ %}$	Relación calculada del vapor de expansión
$\dot{m}_{Co} = 1,000 \text{ kg/h}$	Caudal másico de condensado

→ Herramientas – Capítulo 4.2.2: Vapor de expansión, página 402

$$A_{req,S} = \frac{1,000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 5.0 \text{ %}}{0.673 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3,600 \text{ s}} \cdot \left( \frac{1,000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} \right)^2 = 1,376 \text{ mm}^2$$

$$A_{req,w} = \frac{1,000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot (1 - 5.0 \text{ %})}{956 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3,600 \text{ s}} \cdot \left( \frac{1,000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} \right)^2 = 138 \text{ mm}^2$$

**B10.** Ejemplo de cálculo para determinar la sección transversal necesaria de la tubería

$$DN \geq \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot (1,376 + 138) \text{ mm}^2} = 43.9 \text{ mm}$$

→ DN 40 o DN 50

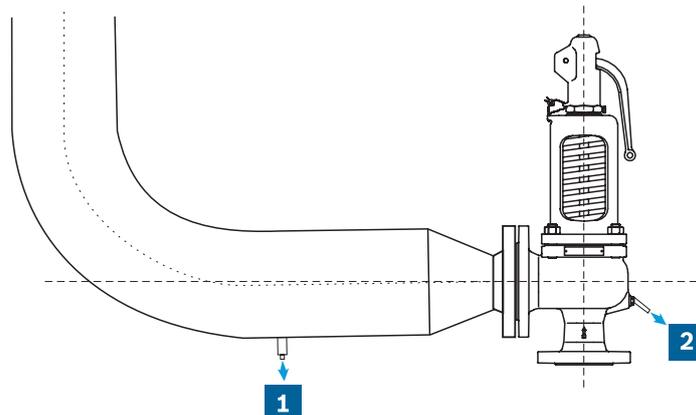
**B11.** Ejemplo de cálculo para determinar el diámetro nominal necesario de las tuberías

## 5.5 Tubo de purga de la válvula de seguridad

### 5.5.1 Tubo de purga en la zona de vapor

Al instalar la tubería de purga de la válvula de seguridad para vapor deben observarse los siguientes criterios:

- La tubería de purga debe dimensionarse de forma que no se supere una contrapresión inherente equivalente al 10 % de la sobrepresión al descargar.
  - Hasta una longitud de tubería de 10 m y un máximo de 5 codos: 2 DN mayor que el diámetro nominal de salida de la válvula de seguridad.
  - Si la tubería es más larga o se utiliza un mayor número de codos, se recomienda realizar un cálculo detallado de la pérdida de presión en la tubería.
- En la salida de la válvula debe montarse inicialmente un tramo de tubería inclinado ( $\geq 0.5\%$ ) para crear un punto bajo en el tubo de purga desde el que el líquido pueda drenar a través de un dispositivo que no pueda cerrarse.
- Si existe un orificio de drenaje en el asiento de la válvula de seguridad, deberá preverse un drenaje adicional.
- La tubería de purga debe estar aislada de otras tuberías (por ejemplo, conductos de purga de aire, conductos de expansión, conductos de purga de la válvula de seguridad) y protegida contra la congelación.
- Debe evitarse la obstrucción del desagüe por suciedad o materias extrañas.
- Debe garantizarse la evacuación inofensiva del condensado.
- La tubería de purga debe instalarse y fijarse de forma que la válvula de seguridad no esté expuesta a fuerzas de cizallamiento, flexión o torsión (por ejemplo, utilizando soportes, colgadores de tubería con resorte). Deben tenerse en cuenta las fuerzas de reacción al descargar.
- El tubo de descarga debe terminar de forma inofensiva.



**Fig. 123** Drenaje del tubo de purga y de la válvula de seguridad

- 1** Drenaje del tubo de soplado de la válvula de seguridad
- 2** Drenaje del asiento de la válvula de seguridad

La capacidad funcional de la válvula de seguridad y del tubo de purga será verificada in situ por el organismo notificado autorizado durante las pruebas de aceptación de la caldera de vapor, y normalmente a plena potencia de combustión durante el funcionamiento real.

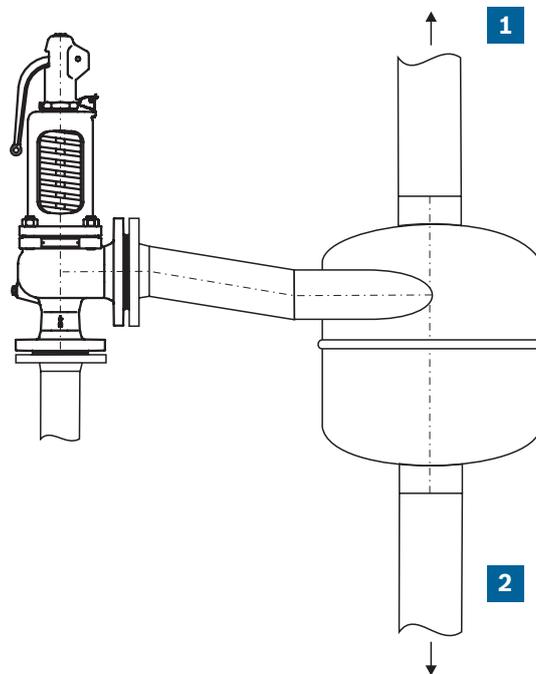
→ Información técnica TI024: requisitos del local de instalación de la caldera



### 5.5.2 Tubo de purga en la zona de líquido

Al instalar el tubo de purga de la válvula de seguridad para líquidos deben observarse los siguientes criterios:

- El tubo de descarga de una válvula de seguridad que esté conectado a una cámara de agua debe estar equipado con una cámara de expansión y separación de agua.
- El sistema en el lado de descarga de la válvula de seguridad debe dimensionarse de forma que no se supere una contrapresión inherente equivalente al 10 % de la sobrepresión durante la descarga.
- El tramo de tubería entre la válvula de descarga de seguridad y la cámara de expansión y separación de agua debe instalarse con una pendiente ( $\geq 0.5\%$ ).
- Si hay un orificio de drenaje en el asiento de la válvula de seguridad, debe preverse un drenaje adicional.
- Para ello, el conducto de desagüe debe instalarse con pendiente y sin constricción.
- Debe evitarse la obstrucción del desagüe por suciedad o materias extrañas.
- El condensado que se acumula en la cámara de expansión y separación de agua debe eliminarse y enfriarse de forma segura.
- El tramo de tubería entre la válvula de purga de seguridad y el depósito de expansión y separación de agua debe instalarse y fijarse de forma que no esté expuesto a fuerzas de cizallamiento, flexión o torsión (por ejemplo, mediante soportes, colgadores de tubería con resorte). Deben tenerse en cuenta las fuerzas de reacción al descargar.
- Al descargar se producen altas temperaturas, velocidades de flujo y ruido de flujo. Por lo tanto, el tubo de purga de la cámara de expansión y separación de agua debe descargar a la atmósfera de forma que no suponga ningún peligro.
- La tubería de purga de la cámara de expansión y separación de agua debe estar aislada de otras tuberías (por ejemplo, conductos de purga de aire, conductos de expansión, conductos de purga de la válvula de seguridad) y protegida contra la congelación.



**Fig. 124** Válvula de seguridad con cámara de expansión y separación de agua

- 1** Tubería de descarga inofensiva a través del techo
- 2** Conducto de evacuación para descarga inofensiva y refrigeración

## 5.6 Sistema de gases de combustión

El sistema de gases de combustión empieza donde termina la caldera y tiene la misión de evacuar a la atmósfera de forma segura los gases de combustión producidos durante la combustión. Esto incluye los tubos de escape dentro y fuera de la sala de calderas, la chimenea y los componentes adicionales incorporados, como juntas de expansión, silenciadores o compuertas de gases de combustión.

Todos los componentes de un sistema de combustión, desde el quemador con su correspondiente ventilador hasta la chimenea, pasando por la caldera, el economizador, los tubos de escape y los silenciadores, deben estar cuidadosamente adaptados entre sí. Sólo así se puede garantizar un funcionamiento sin problemas a largo plazo en todas las condiciones de funcionamiento. Si los componentes individuales están mal adaptados o ejecutados incorrectamente, se producen vibraciones, ruidos, un aumento de las emisiones o una combustión inestable en todo el sistema.

Los sistemas de gases de combustión deben dimensionarse de acuerdo con la normativa nacional y local y las normas aplicables.

Los requisitos generales relativos a los sistemas de evacuación de gases de combustión en los edificios se especifican en la norma EN 1443. Los sistemas de evacuación de gases de combustión deben instalarse de acuerdo con la normativa local sobre construcción.

Aparte de las normas de construcción, se aplican otras normas como la EN 13084-1 para chimeneas independientes.

Para las definiciones relativas al dimensionamiento del caudal, véanse las normas EN 13384 para sistemas de evacuación de gases de combustión en edificios, y EN 13084-1 para chimeneas independientes.



Los conductos de gases de combustión deben estar fabricados con materiales incombustibles y ser resistentes a los efectos de los gases de combustión y el calor. El material de todo el sistema de gases de combustión de la caldera de vapor debe ser adecuado para temperaturas de hasta 350 °C. Si la caldera está equipada con un cuarto paso o con una caldera de calor residual para el aprovechamiento del calor residual de los gases de combustión de un módulo de cogeneración o de una turbina de gas, el sistema de gases de combustión debe ser adecuado para la temperatura más alta que pueda darse en cada caso.

Con frecuencia se aplican requisitos adicionales específicos de cada país para el diseño del sistema de gases de combustión y la altura de la chimenea. Por tanto, aquí sólo se describen los principios fundamentales de planificación funcional más importantes.

### Tubo de escape

El tubo de escape conecta el extremo de la caldera con la entrada de la chimenea. Debe tenderse lo más directamente posible, ser aerodinámicamente eficiente y tener pocos codos para reducir al mínimo la pérdida de presión y de calor. El tubo no debe estrecharse ni ensancharse bruscamente, sino que debe utilizarse un ángulo de transición máximo de 30°. La conexión del tubo de escape a la chimenea debe establecerse siempre empotrándolo en un ángulo de 30 ... 45°.



Requisito	Diseño
Condiciones constantes de la cámara de combustión	Diseñado para +0/-1 mbar en el extremo de la caldera Se recomienda un tiro de chimenea por caldera
Baja pérdida de presión	Corto, pocos codos y aerodinámicamente eficiente
Baja pérdida de calor	Proporcionan aislamiento
Eliminar el condensado	Boquilla de evacuación de condensados y neutralización
Asegurar el paso sin restricciones	Dispone de aberturas de limpieza e inspección
Medición de emisiones	Prever boquilla de medición de emisiones
Limpieza e inspección	Prever aberturas de limpieza e inspección en todas las desviaciones
Compensar la dilatación térmica	Prever juntas de dilatación
Resistencia	Resistentes a la temperatura (hasta 350 °C), al condensado y a la corrosión
Resistencia a la compresión	Presión positiva y negativa
Estanqueidad al gas	Estanqueidad al gas según EN 1856
Peligro por aire insuficiente	Integrar compuertas de gases de combustión y aire de alimentación con interruptores de fin de carrera orientados a la seguridad

**Tab. 23** Requisitos generales de los tubos de escape

### Dimensionamiento

Normalmente, el tubo de evacuación con todos sus componentes, como compuertas de gases de combustión, juntas de dilatación y silenciadores, puede continuar hasta la chimenea con el mismo diámetro nominal que el conector de gases de combustión de la caldera.

Al diseñar el sistema, no debe superarse una velocidad recomendada de 16.5 m/s con referencia a la temperatura de salida de la caldera. Dado que la velocidad recomendada se refiere al caudal de funcionamiento, el caudal másico de gases de combustión que se especifica normalmente debe convertirse al caudal de funcionamiento.

Para la conversión puede utilizarse la ley de los gases ideales.

$$\rho_b = \rho_n \cdot \frac{T_n}{T_b} \cdot \frac{p_b}{p_n}$$



**F24.** Ecuación de los gases ideales reordenada para calcular la densidad operativa de los gases

- $\rho_b$  Densidad operativa
- $\rho_n$  Densidad estándar
- $T_b$  Temperatura de funcionamiento [K]
- $T_n$  Temperatura en condiciones estándar (273.15 K)
- $p_b$  Presión de funcionamiento [bar]
- $p_n$  Presión en condiciones estándar (1.01325 bar)

→ F2: Temperatura y presión normales y temperatura y presión estándar, página 27

**Example, natural gas H:**

$\lambda = 1.15$	Exceso de aire
$\dot{m}_{FG} = 10,000$	Caudal másico de gases de combustión [kg/h]
$\rho_{n,FG} = 1.244$	Densidad estándar de los gases de combustión [kg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub> ]
$T_b = 250 / 523.15$	Temperatura de los gases de combustión [°C]/[K], después de la caldera y antes del economizador
$p_b = p_n = 1.01325$	Presión ambiente [bar] (no se tiene en cuenta la desviación de la condición estándar)

$$\rho_b = 1.244 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{273.15 \text{ K}}{523.15 \text{ K}} \cdot 1 = 0.650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$



**B12.** Ejemplo de cálculo para determinar la densidad de funcionamiento de los gases de combustión

$$DN \geq \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot u}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{m}}{\pi \cdot \rho \cdot u}}$$



**F25.** Fórmula para calcular el diámetro nominal necesario del tubo de escape

DN	Diámetro nominal de la tubería
$\dot{V}$	Caudal [kg/h]
$\dot{m}$	Caudal másico [kg/s]
$\rho$	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]
u	Velocidad recomendada según tabla [m/s]

$$DN \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 10,000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{\pi \cdot 0.650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 16.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3,600 \text{ s}} \cdot \left(\frac{1,000 \text{ mm}}{1 \text{ m}}\right)^2 = 574 \text{ mm}}$$



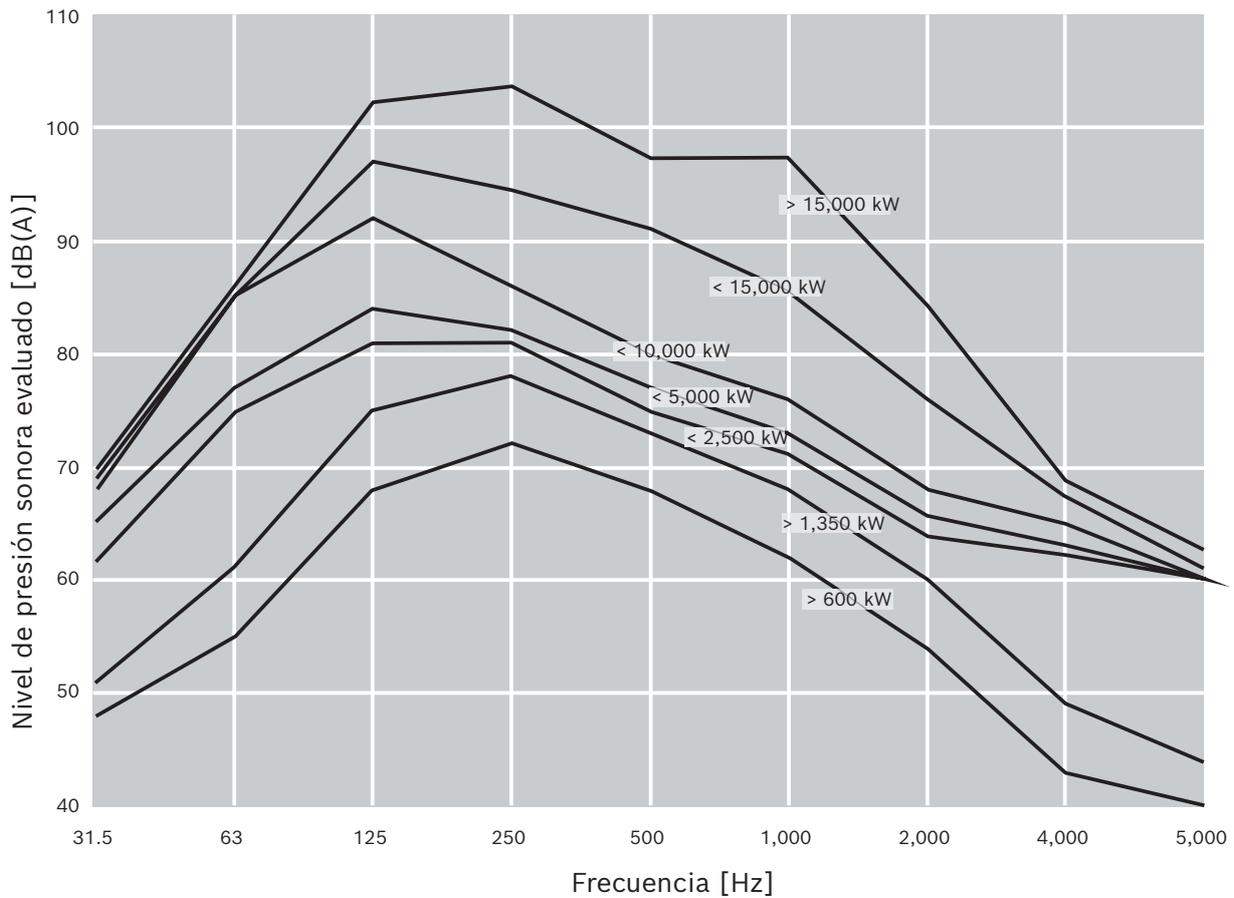
→ Diámetro mínimo nominal DN **630**

**B13.** Ejemplo de cálculo para determinar el diámetro nominal necesario del tubo de escape

El cálculo del tiro del fabricante de la chimenea también puede requerir un diámetro nominal mayor, especialmente en el caso de chimeneas cortas y tubos de escape largos.

### 5.6.1 Silenciadores de gases de combustión

El objetivo de los silenciadores de gases de combustión es reducir la emisión de ruido de combustión. Para garantizar la eficacia del silenciador, éste debe estar diseñado para las frecuencias emitidas por el quemador, la potencia de la caldera y las emisiones sonoras homologadas especificadas.



**Fig. 125** Análisis de frecuencia A y nivel de presión acústica total correspondiente con referencia a la potencia de la caldera

Potencia de la caldera	[kW]	≤ 600	≤ 1,350	≤ 2,500	≤ 5,000	≤ 10,000	≤ 15,000	> 15,000
Valor empírico del nivel de presión acústica total	[dB(A)]	75	81	85	87	94	100	107

Los valores indicados en la Fig. 125 son sólo valores orientativos para una caldera individual sin silenciador de gases de combustión. La medición se realizó a 1 m de la salida de la chimenea con un ángulo de 45°.



El ruido producido durante la combustión se emite como ruido aéreo a través de la superficie del sistema de gases de combustión y emerge en la cabeza de la chimenea. El ruido de un sistema de caldera consiste principalmente en sonidos de baja frecuencia.

Estas emisiones sonoras pueden reducirse eficazmente con un silenciador de gases de combustión. Para cumplir los valores de emisión sonora prescritos, al diseñar un silenciador de gases de combustión debe tenerse en cuenta el espectro de frecuencias del ruido de los gases de combustión a la salida de la chimenea del sistema de caldera.

El gráfico de la Fig. 125 muestra el nivel medio de presión acústica de una caldera, medido a la salida de la chimenea sin silenciador de gases de combustión en el sistema de gases de combustión. Dado que el sistema de combustión (por ejemplo, debido a la construcción del quemador o al perfil de flujo que se produce en la cámara de combustión) y el sistema de gases de combustión (por ejemplo, debido al número de codos, la longitud y el diámetro del tubo de escape) tienen una influencia considerable en los valores resultantes, aquí sólo se pueden especificar valores orientativos para el nivel de presión acústica. En el caso del sistema de varias calderas, deben sumarse los niveles sonoros de todas ellas.

Al planificar el tubo de escape, debe tenerse en cuenta que, para reducir las emisiones sonoras, el silenciador debe ser bastante largo, en función de los requisitos, y debe instalarse dentro o fuera del lugar de instalación antes de la entrada del tubo de escape en la chimenea.

Si los requisitos de emisión sonora son exigentes, por ejemplo en el sector hospitalario, debido a la complejidad del tema, es aconsejable consultar a un experto en acústica sobre el diseño específico del silenciador de gases de combustión.

### **Chimenea**

El objetivo de la chimenea es evacuar los gases de combustión y los contaminantes que contienen de forma inofensiva al entorno, asegurándose de que se eliminan en la corriente de aire libre sin interrupciones y también se diluyen lo suficiente. Debe estar en las inmediaciones de la sala de calderas para evitar conductos de gases de combustión largos y los gases de combustión deben evacuarse verticalmente hacia arriba. No se permite la obstrucción de la corriente de aire libre mediante codos o toldos contra la lluvia.

### **Altura de la chimenea**

La altura mínima requerida para la chimenea viene definida por los requisitos nacionales de control de la contaminación atmosférica.

### **Sección transversal y tiro de la chimenea**

La temperatura de los gases de combustión en la chimenea es superior a la del aire exterior. Esto produce una fuerza de elevación, el llamado "tiro de chimenea", en la chimenea y en las secciones ascendentes del tubo de escape. Esto favorece la evacuación de los gases de combustión y produce una presión negativa en la chimenea y en las secciones del tubo de escape. El tamaño del tiro de la chimenea también está relacionado con la diferencia de temperatura en relación con la atmósfera a través de la densidad.

La sección transversal de la chimenea elegida debe ser lo suficientemente grande para permitir que las fuerzas de elevación superen la resistencia al flujo en la chimenea desde el extremo de la caldera. Por otro lado, la sección transversal no debe ser demasiado grande para garantizar que los gases de combustión sigan saliendo de la chimenea a una velocidad de al menos 6 m/s y para que no exista una presión negativa demasiado elevada en el extremo de la caldera, especialmente con chimeneas muy altas.

El cálculo del conducto de evacuación debe realizarlo siempre un contratista especializado o el fabricante de la caldera.







## 6 Producción

### 6.1 Construcción óptima de calderas

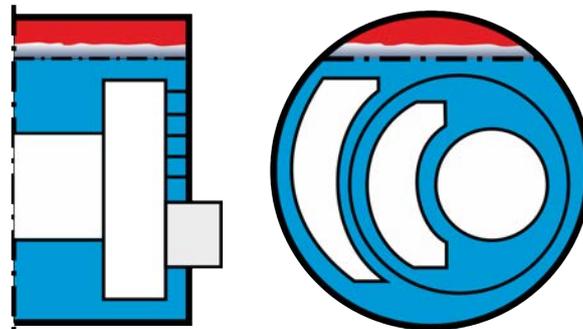
#### Diseño óptimo para un suministro de vapor moderno

Las calderas de vapor modernas deben funcionar eficientemente y hacer frente a las demandas de presión dinámica con calidad de vapor constante. El contenido de agua y el tamaño del espacio de vapor se discuten con frecuencia, aunque hay otros factores más relevantes. Mucho más cruciales para la reserva de potencia y la dinámica con una calidad de vapor elevada y constante son la calidad del agua, la calidad del control y la altura del espacio de vapor. Una mala calidad del agua conduce a un nivel de agua "inestable" y a la formación de espuma, con el consiguiente peligro de arrastre de agua.

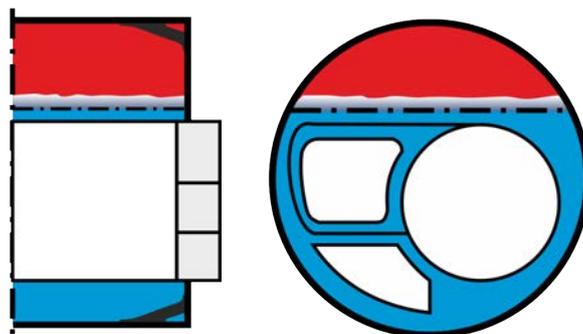
Por ello, la disposición patentada del tubo de llama y de los pasos en las calderas Bosch (fig. 127) es perfecta para maximizar el espacio de vapor con un bajo contenido de agua. En caso de picos de potencia repentinos, el nivel de agua aumenta. En estos casos, el espacio de vapor ofrece gran seguridad contra las paradas por alto nivel de agua y minimiza el arrastre de agua. Además, la reacción rápida a los picos de carga se consigue mediante nuestro control inteligente de tres componentes, las señales piloto de los consumidores de gran escala y evitando la preventilación (arranque del quemador). Una amplia gama de métodos de diseño, como el diseño por reglas y el diseño por análisis (por ejemplo, FEM), reducen al mínimo las tensiones relacionadas con el diseño en el envoltorio de la caldera.

#### Otras ventajas son:

- Mayor calidad del vapor, especialmente para requisitos dinámicos
- El bajo contenido de agua permite un calentamiento más rápido desde el arranque en frío
- El diseño más compacto reduce el espacio necesario, la radiación y las pérdidas por inactividad
- Menor carga de la cámara de combustión y reducción de las emisiones de NOx



**Fig. 126** Diseño de caldera con disposición de pasadas lado a lado



**Fig. 127** Diseño de caldera con espacio de vapor optimizado de Bosch

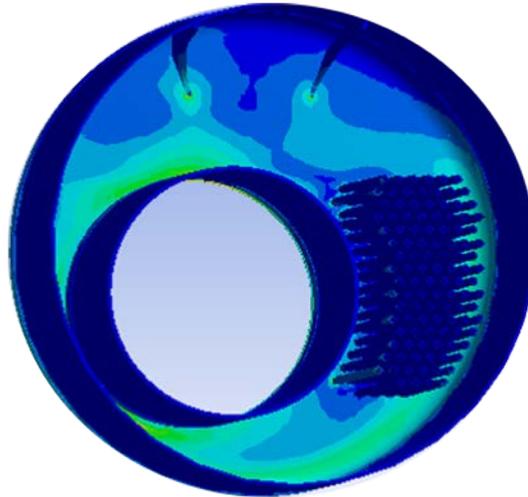
### Barras diagonales en lugar de tornillos prisioneros

En otros diseños de caldera, la cámara de inversión se fija al extremo de la caldera con pernos prisioneros y no hay conexión directa entre el hogar de combustión y el extremo de la caldera. Debido a la diferencia de temperatura entre el envolvente frío de la caldera y el hogar caliente, en la caldera se producen grandes fuerzas, especialmente durante el calentamiento. Con los pernos, estas fuerzas sólo pueden transmitirse en puntos específicos, lo que provoca picos de tensión desfavorables.

#### Otras desventajas de la construcción con pernos son:

- Los pernos son críticos cuando están expuestos a esfuerzos de flexión
- Los pernos se desgarran, especialmente con los cambios frecuentes de temperatura

Se ha perfeccionado el principio constructivo de las calderas industriales de Bosch y se han suprimido los pernos prisioneros. El tubo de llama está anclado al envolvente de la caldera en ambos extremos y puede distribuir las tensiones uniformemente a través de la base de la caldera y los tirantes diagonales (anclajes angulares). Para evitar emisiones térmicas adicionales, en la puerta de inspección de la caldera se utiliza un aislamiento compuesto multicapa de Bosch con un efecto aislante especialmente elevado. Otra ventaja es la ausencia de mantenimiento durante toda la vida útil, siempre que el funcionamiento y la puesta en servicio sean correctos. Este diseño UNIVERSAL UL-S ha demostrado su eficacia en más de 80.000 instalaciones de calderas durante más de 60 años. Algunas de estas calderas, fabricadas inicialmente a principios de los años 50, siguen funcionando hoy en día.



**Fig. 128** *Los tirantes diagonales en lugar de los tirantes garantizan una distribución uniforme de la tensión y una larga vida útil*

## 6.2 Soldadura correcta de los tubos de llama y de humo

Las conexiones entre los tubos de llama y de humos y la base son una de las zonas más sensibles de las calderas de alta presión. Estas conexiones deben resistir grandes esfuerzos y temperaturas. Por eso, en Bosch, los tubos de humo se sueldan con robots de última generación y para los tubos de llama se utilizan sistemas de soldadura semiautomáticos. Se obtienen uniones homogéneas y robustas realizando la soldadura de forma completa o semiautomática. También se utilizan ranuras de refrigeración en el lado del agua en los cordones de soldadura expuestos a grandes tensiones térmicas. En el caso de chapas más gruesas, esto brinda una refrigeración excelente incluso en condiciones de carga elevada.

Sin embargo, los pasos del quemador se realizan sin refrigeración por agua para aumentar la durabilidad de la caldera. De este modo se evitan reparaciones complicadas y costosas, incluida una prueba de presión hidráulica completa. Gracias al concepto especial de aislamiento de Bosch en el paso del



quemador, se pueden minimizar las pérdidas por emisión de calor y el aporte de calor de nuestras calderas industriales. Esto también aumenta la robustez y la facilidad de mantenimiento de la caldera, ya que el material aislante está diseñado para durar toda la vida útil de la caldera si se pone en servicio y se maneja correctamente.



**Fig. 129** Soldadura de costuras en tubos de humo insertados

### 6.3 Soldadura de precisión



**Fig. 130** Calderas horizontales y verticales en la fábrica de Gunzenhausen (Alemania)

Gracias a nuestras grúas de proceso con una capacidad de carga excepcionalmente alta y a nuestras naves de producción elevadas, las calderas de hasta 120 toneladas pueden girarse y colocarse en la posición de proceso ideal de forma segura, rápida y cuidadosa. En cambio, en las instalaciones

de producción más antiguas, las calderas de más de 60 toneladas, por ejemplo, suelen soldarse por necesidad en posición inclinada. Esto puede provocar problemas de calidad en la soldadura.

La soldadura horizontal permite conseguir una estructura más homogénea, una mayor profundidad de penetración, geometrías sin muescas, una calidad de soldadura excepcional y, por tanto, una mayor uniformidad del proceso de soldadura en general.

Para el montaje individual de una caldera con bridas y equipos a medida, los componentes se unen manualmente mediante el procedimiento de soldadura con gas activo metálico (MAG).

Para garantizar costuras sin poros, es esencial que el gas inerte no se expulse durante la soldadura. Nos aseguramos de ello protegiendo nuestras áreas de trabajo con puestos protegidos del viento, sistemas de ventilación especiales y calefacción por techo radiante en lugar de los sopladores de aire caliente convencionales.

Nuestra máquina de tubos corrugados, única en el mundo y de desarrollo propio, es capaz de fabricar de forma totalmente automática tubos de llama corrugados de hasta 9 metros de longitud. La máquina está equipada con doce servomotores y tres láseres de supervisión y control. Fabrica tubos ondulados de llama con precisión milimétrica mediante tecnología láser. Los tubos de llama ondulados son un producto esencial en la fabricación de calderas y son los componentes que deben soportar mayores esfuerzos.



**Fig. 131** La máquina de tubos ondulados de llama totalmente automática de diseño propio

## 6.4 Uso de robots de soldadura

Para garantizar una calidad especialmente alta y constante, los tubos de humo de la mayoría de nuestras calderas se sueldan de forma totalmente automática mediante cinco sistemas robotizados. El robot especial utilizado en la fabricación de calderas industriales en Bosch (véase la fig. 132, página 237) tiene muchas ventajas en comparación con los robots de soldadura utilizados en aplicaciones convencionales. No se producen errores de posicionamiento gracias al escaneo totalmente automático de tubos individuales que no requiere cambios de herramienta. El robot puede utilizarse de forma flexible en combinación con una grúa y transportarse rápida y fácilmente a cada caldera. La calidad de estos cordones de soldadura es crucial para la durabilidad a largo plazo de la caldera, ya que los cordones de soldadura de los tubos de humo están expuestos a grandes tensiones.



**Fig. 132** Robot de soldadura móvil utilizado en la producción de calderas industriales de Bosch

## 6.5 Menos cordones de soldadura, mayor calidad

Nuestras instalaciones de fabricación de calderas industriales están diseñadas para manipular secciones de chapa especialmente anchas, de hasta 3.5 metros. Esto significa que nuestros grandes cuerpos de caldera requieren menos soldaduras de lo habitual. Un cordón de soldadura puede estar perfectamente ejecutado, pero no puede competir con la extraordinaria robustez de un material macizo continuo y sometido a poca tensión.

### El material de baja tensión aumenta la vida útil

Con las máquinas de corte por láser y plasma se pueden conseguir tolerancias especialmente ajustadas para cortar componentes de contenedores y depósitos a presión. La precisión de los ángulos y la mínima aportación de calor son otras ventajas en comparación con los sistemas de corte por gas habituales.

El corte con sistemas de plasma controlados por CNC garantiza que se introduzca menos energía en los puntos de corte de los paneles. Los cabezales de corte ajustables hasta 45 grados permiten la preparación simultánea de las juntas. Por esta razón, en Bosch Industrial todos los cuerpos de caldera y componentes básicos se procesan con este procedimiento.

Las piezas de chapa más pequeñas para componentes de calderas y los cuerpos de calderas más pequeños se cortan en la instalación de corte por láser controlada por CNC totalmente automática. Las piezas cortadas de forma rápida, precisa y sin esfuerzo se pueden suministrar a los procesos posteriores sin necesidad de repararlas, con juntas muy pequeñas y cantos sin rebabas.



**Fig. 133** Posibilidad de plegar láminas metálicas de hasta 3.5 m de ancho





 **BOSCH**

88324  
NOMINAL  
CURRENT  
CT 0406





# Eficiencia

<b>1</b>	<b>Básicos</b>	<b>243</b>
1.1	Poder calorífico neto, poder calorífico bruto y calor de condensación	243
1.2	Resumen de las medidas de eficiencia	245
1.3	Eficiencia	246
1.4	Eficiencia de la combustión	246
1.5	Eficiencia de la caldera	251
1.6	Grado de utilización	253
1.7	Grado de utilización anual	253
1.8	Análisis de costes de operación	258
<b>2</b>	<b>Aumento de la eficiencia de combustión</b>	<b>261</b>
2.1	Temperatura o pérdida de gases de combustión	261
2.2	Aumento de la eficiencia del sistema de quemadores	270
<b>3</b>	<b>Aumento de la eficiencia en el circuito del agua y del condensado</b>	<b>277</b>
3.1	Purga de superficie y purga de fondo	277
3.2	Vapores de escape	280
3.3	Desmineralización	282
3.4	Gestión de condensado	282
<b>4</b>	<b>Aumento de la eficiencia de la caldera y del sistema</b>	<b>287</b>
4.1	Aislamiento	287
4.2	Control	295
4.3	Control automático	296
4.4	Servicio	298
<b>5</b>	<b>Combinación de procesos</b>	<b>303</b>
5.1	Cogeneración	303
5.2	Respaldo de calor solar	305





# 1 Básicos

Los costes de combustible representan la mayor parte de los costes de operación de un sistema de calderas. Para evaluar la eficacia energética de los sistemas de calderas de vapor es importante conocer el rendimiento y, sobre todo, el grado real de utilización.

Además de los costes de combustible, deben controlarse y optimizarse los costes de energía, productos químicos, agua y aguas residuales, piezas de repuesto y tiempos de inactividad.

## 1.1 Poder calorífico neto, poder calorífico bruto y calor de condensación

El valor calorífico neto ( $H_u$  or  $H_i$ ) es la energía liberada durante una combustión completa cuando los gases de combustión se enfrían a la temperatura de referencia a una presión constante. En este caso, el vapor de agua producido durante la combustión permanece en forma gaseosa. Por lo tanto, el valor calorífico neto sólo especifica la cantidad de calor sensible en los gases de combustión y está relacionado con la temperatura, y no la cantidad de calor de condensación ligado al vapor de agua.

El valor calorífico bruto ( $H_o$  or  $H_s$ ) es la energía liberada durante una combustión completa cuando los gases de combustión se enfrían de nuevo a la temperatura de referencia a una presión constante y se condensa toda la cantidad de agua producida. Por lo tanto, el valor calorífico bruto también contiene el calor de condensación, también denominado "calor latente".

→ Tecnología – Capítulo : Eficiencia, página 241

En función del combustible utilizado, el valor calorífico bruto es aproximadamente entre un 6.8% (fuelóleo) y un 10.8% (gas natural H) superior al valor calorífico neto.

Valor material	Símbolo	Unidad	Gas natural L	Gas natural H	Propano	Butano	Fuelóleo EL	Fuelóleo EL bajo en azufre
<b>Poder calorífico neto</b>	$H_i$	kWh/m <sup>3</sup> kWh/kg	8.83	10.35	25.89	34.39	11.89	11.89
<b>Valor calorífico bruto</b>	$H_s$	kWh/m <sup>3</sup> kWh/kg	9.78	11.46	28.12	37.23	12.70	12.70
<b>Relación</b>	$H_i / H_s$	%	110.8	110.7	108.6	108.3	106.8	106.8
<b>Punto de rocío</b>	$t_{Co}$	°C	56.9	57.0	53.1	52.4	48.6	48.6
<b>Punto de rocío ácido</b>	$t_{Co}$	°C	–	–	–	–	124	97
<b>Generación de agua<sup>1)</sup></b>	$W_{spec,H2O}$	g <sub>H2O</sub> /kWh	159.4	158.5	126.9	122.0	100.5	100.5
<b>Valor pH</b>	pH	–	2.8 ... 4.9	2.8 ... 4.9	2.8 ... 4.9	2.8 ... 4.9	1.8 ... 3.7	2.3 ... 4.5

**Tab. 24** Características de los distintos combustibles

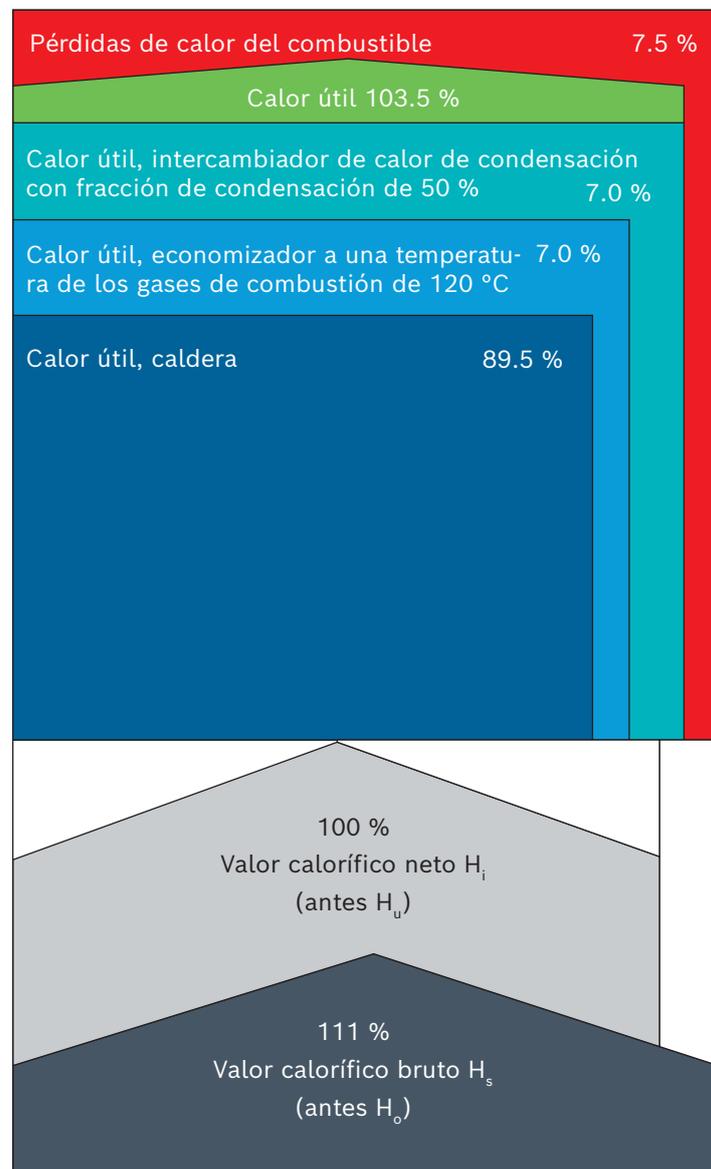
1) Con referencia a  $H_i$

Parte del vapor de agua de los gases de combustión puede condensarse gracias a los más modernos sistemas de recuperación de calor y de gases de combustión fabricados con materiales resistentes a la corrosión (por ejemplo, aceros inoxidables adecuados). Utilizando esta tecnología de condensación, la eficiencia también puede aumentar a más del 100 %, ya que se basa en el valor calorífico neto inferior.

→ Eficiencia – Capítulo 2.1.2: Intercambiador de calor de condensación, página 263

La eficiencia se calcula en función del valor calorífico neto de un combustible, ya que antiguamente era esencial que el vapor de agua de los gases de combustión se mantuviera en forma gaseosa para evitar la condensación de los gases de combustión y la corrosión de la caldera o del sistema de gases de combustión, así como el ensuciamiento de la chimenea.

Sin embargo, para usar la tecnología de condensación, el medio debe estar a  $\geq 10$  K por debajo de la temperatura del punto de rocío de los gases; a una temperatura máxima de 45 °C con gas natural.



**Fig. 134** Balance térmico de un generador de vapor con tecnología de condensación y combustión de gas (los valores son ejemplos)



## 1.2 Resumen de las medidas de eficiencia

Si se realiza un cálculo de equilibrio para una caldera de vapor con una carga especificada basándose en los flujos de entrada y salida de material y energía, rápidamente se hace evidente la proporción de energía que no se puede utilizar. Se suministra combustible, aire de combustión, agua de alimentación y potencia eléctrica, por ejemplo, para bombas y ventiladores.

Las variables del cálculo del balance que se eliminan son, además de la energía térmica útil en el vapor, las pérdidas proporcionales por los gases de combustión, la purga superficial o la purga de fondo y las pérdidas térmicas por radiación y conducción.

Estas pérdidas pueden minimizarse tomando las medidas adecuadas. A la hora de seleccionar las medidas de optimización, debe darse prioridad a las que ofrezcan la mejor relación coste-beneficio. Sin embargo, esta secuencia de medidas coste-beneficio depende del sistema específico y también, en gran medida, del modo de funcionamiento del sistema global de calderas. La siguiente tabla ofrece una visión general de las medidas para aumentar la eficiencia. La mayoría de estas medidas pueden combinarse.

Medidas de ahorro energético	Ahorro potencial	→ Página
Economizador	≤ 7 % combustible	→ Página 261
Intercambiador de condensación	≤ 7 % combustible	→ Página 263
Precalentamiento del aire	≤ 2.5 % combustible	→ Página 305
Refrigeración del agua de alimentación	≤ 1.8 % combustible ≤ 3 % combustible en caldera de 4 pasos	→ Página 305
Expansión de salmuera y recuperación de calor	≤ 2 % combustible, agua dulce, aguas residuales	→ Página 305
Control del quemador de oxígeno y/o CO	≤ 0.5 % combustible	→ Página 270
Control de velocidad, ventilador	≤ 75 % costos de electricidad	→ Página 305
Intercambiador de vapores de escape	≤ 0.5 % combustible	→ Página 280
Sistema de condensado de alta presión	≤ 12 % combustible, agua dulce	→ Página 284
Análisis automático y continuo del agua	≤ 0.5 % combustible, químicos, costos de personal	→ Página 296
Optimización de los parámetros de control, servicio regular, mantenimiento, limpieza	≤ 3 % combustible, mayor vida útil, fiabilidad del proceso	→ Página 298
Preparación del agua de ósmosis	≤ 3 % combustible, agua dulce, químicos	→ Página 305

**Tab. 25** Medidas de ahorro energético y potencial de ahorro resultante

### 1.3 Eficiencia

La eficiencia es una relación entre los beneficios y el esfuerzo que se basa en los rendimientos energéticos. En el caso de una caldera de vapor, el rendimiento es, por tanto, el cociente entre la potencia térmica liberada en forma de vapor y la potencia térmica suministrada en forma de combustible. El rendimiento es una medida de la eficacia con la que se convierte la energía en la caldera. El rendimiento de los sistemas de calderas de vapor viene determinado por el rendimiento de la combustión y las pérdidas de calor por radiación y conducción en la superficie de la caldera. En este caso, es importante que el rendimiento se defina únicamente para un sistema nuevo a su potencia de vapor nominal o para potencias de vapor de carga parcial específicas cuando el sistema está en equilibrio.

No se tienen en cuenta las pérdidas debidas a la puesta en marcha y la parada, la purga superficial y la purga de fondo, la contaminación de las superficies de calentamiento, el tratamiento del agua de alimentación y las pérdidas de calor en otras tuberías.

$$\text{Eficiencia } \eta = \frac{\text{Producción}}{\text{Corriente}} = \frac{\text{Producción térmica de vapor}}{\text{Potencia térmica del combustible}}$$



$$\eta = \frac{\dot{Q}_S}{\dot{Q}_F}$$



**F26.** Fórmula para calcular la eficiencia

$\dot{Q}_S$       Potencia térmica del vapor [kW]

$\dot{Q}_F$       Potencia térmica del combustible [kW]

### 1.4 Eficiencia de la combustión

La eficiencia de la combustión  $\eta_f$  describe el rendimiento de calor sensible durante la combustión de un combustible. Se determina calculando las pérdidas térmicas  $q_A$  en los gases de combustión con referencia al nivel de temperatura ambiente. Los componentes no quemados del combustible no se tienen en cuenta para la combustión de aceite y gas, ya que en la práctica no deben producirse a una escala relevante.

→ Eficiencia – Capítulo 1.1: Poder calorífico neto, poder calorífico bruto y calor de condensación, página 243

El rendimiento de la combustión se basa en el valor calorífico neto de un combustible y se calcula deduciendo las pérdidas de gases de combustión del 100 % máximo alcanzable.

$$\eta_f = 100 \% - q_A$$



**F27.** Fórmula para calcular el rendimiento de la combustión



### Exceso de aire

El exceso de aire es la relación entre la cantidad real de aire suministrada y la cantidad estequiométrica de aire necesaria.

$$\lambda = \frac{m_L}{m_{L,st}}$$

La ecuación simplificada para la conversión del contenido de oxígeno de los gases de combustión sólo se aplica para una relación gases de combustión/aire de ~ 1.

$$\lambda \approx \frac{21\%}{21\% - O_2}$$



→ Fig. 135, página 249

$\lambda$	Exceso de aire
$m_L$	Calor real
$m_{L, st}$	Calor estequiométrico
$O_2$	Oxígeno [% en vol.]

Para calcular la pérdida de gases de combustión, se determinan el porcentaje de  $CO_2$  u  $O_2$  en los gases de combustión y la diferencia de temperatura entre la temperatura de los gases de combustión y la temperatura ambiente. También se necesitan los porcentajes máximos de  $CO_2$  en los gases de combustión, que dependen del combustible utilizado en cada caso, y el factor  $f$  de Siegert, que depende del contenido de  $O_2$  medido.

$$q_A = \frac{f}{CO_{2,max}} \cdot \frac{21\%}{21\% - O_2} \cdot (t_{FG} - t_L)$$



**F28.** Fórmula para calcular la pérdida de gases de combustión

$q_A$	Pérdida de gases de combustión en relación con la potencia de combustión y el poder calorífico neto inferior [%]
$f$	Factor Siegert, dependencia lineal del exceso de aire $\lambda$ [bar]
$CO_{2,max}$	Valor máximo de $CO_2$ en los gases de combustión secos [% en vol.]
$O_2$	Contenido de oxígeno medido en los gases de combustión secos [% en vol.]
$t_{FG}$	Temperatura medida de los gases de combustión [°C]
$t_L$	Temperatura de referencia y del aire de combustión según EN 12953 parte 11 constante 25 °C

Si sólo se mide el valor de CO<sub>2</sub> en el gas de combustión seco, se aplica la siguiente conversión:

$$O_{2,r} = 21\% \cdot \left(1 - \frac{CO_2}{CO_{2,max}}\right)$$



**F29.** Fórmula para calcular el contenido de oxígeno residual a partir del valor de CO<sub>2</sub>

- O<sub>2,r</sub> Contenido de oxígeno calculado en el gas de combustión seco [% en vol.]  
 CO<sub>2</sub> Valor de CO<sub>2</sub> medido en el gas de combustión seco [% en vol.]  
 CO<sub>2,max</sub> Valor máximo de CO<sub>2</sub> en los gases de combustión secos [% en vol.]

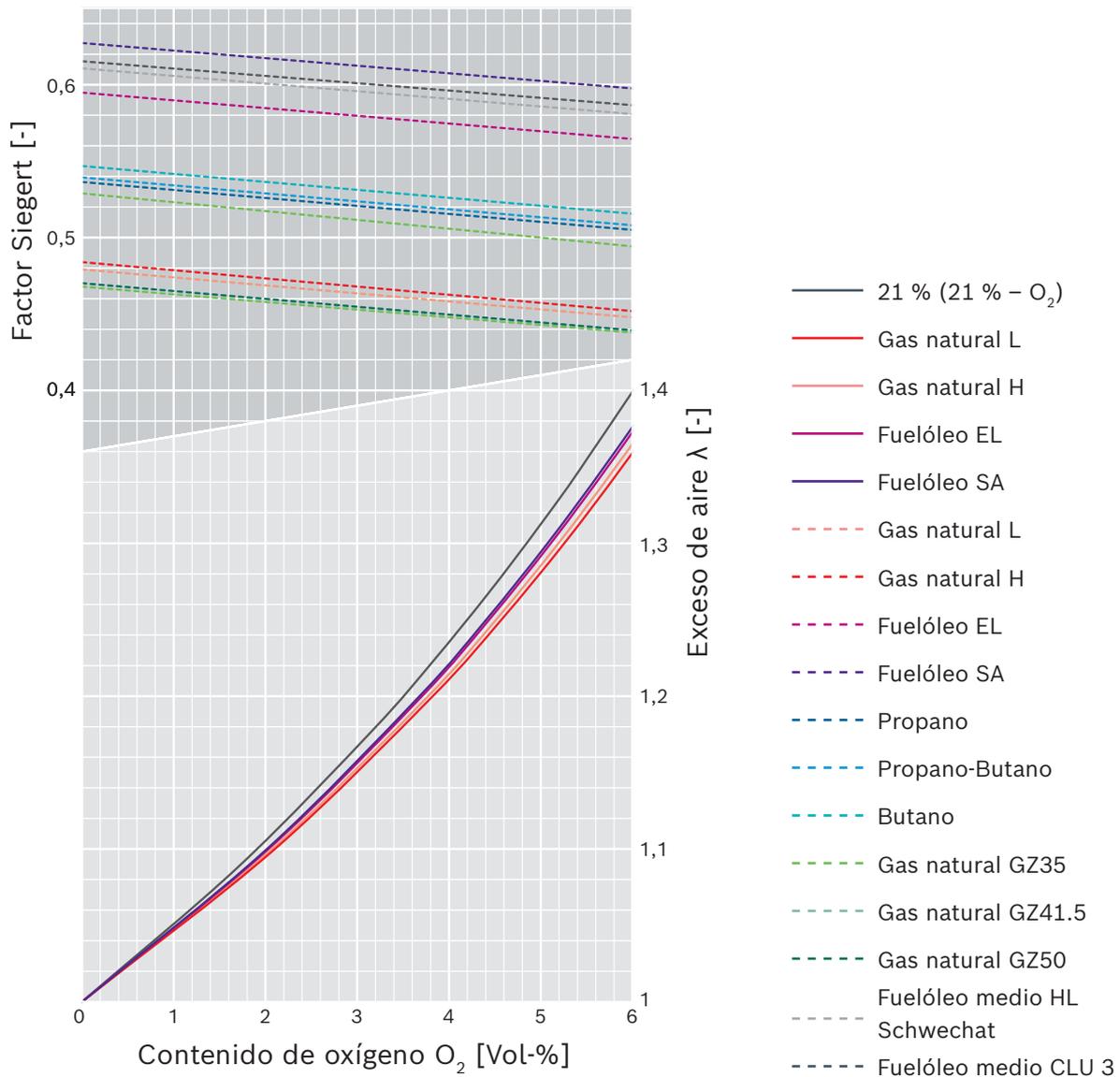
Combustible	CO <sub>2,max</sub>	Factor Sieger	
		f <sub>1</sub> = f (O <sub>2</sub> = 0 %)	f <sub>2</sub> = f (O <sub>2</sub> = 5 %)
Gas natural L	11.67 %	0.4792	0.4530
Gas natural H	11.94 %	0.4731	0.4469
Fuelóleo EL	15.31 %	0.4535	0.4342
Fuelóleo SA	16.02 %	0.4570	0.4389
Propano	13.69 %	0.4575	0.4352
Propano-Butano	13.78 %	0.4570	0.4349
Butano	13.99 %	0.4563	0.4346
Gas natural GZ35	11.12 %	0.4871	0.4611
Gas natural GZ41.5	11.67 %	0.4604	0.4358
Gas natural GZ50	11.67 %	0.4835	0.4569
Fuelóleo medio HL Schwechat	15.72 %	0.4534	0.4348
Fuelóleo medio CLU 3	16.11 %	0.4458	0.4285

**Tab. 26** Factores Siegert de varios combustibles

Cálculo del factor Siegert para cualquier contenido dado de oxígeno en el O<sub>2</sub> de los gases de combustión secos:

$$f(O_2) = f_1 + \frac{f_2 - f_1}{5\% - 0\%} \cdot O_2$$





**Fig. 135** Correlación entre el contenido de oxígeno en los gases de combustión secos, el exceso de aire y el factor Siebert

**Notas:**

- Para el exceso de aire: gas natural GZ 41,5/50, propano, butano, propano-butano coincide prácticamente exactamente con el gas natural L y, por tanto, no se muestra.
- El fuelóleo medio CLU 3 y el fuelóleo medio HL Schwechat se encuentran entre las curvas del fuelóleo EL y SA, por lo que no se muestran.

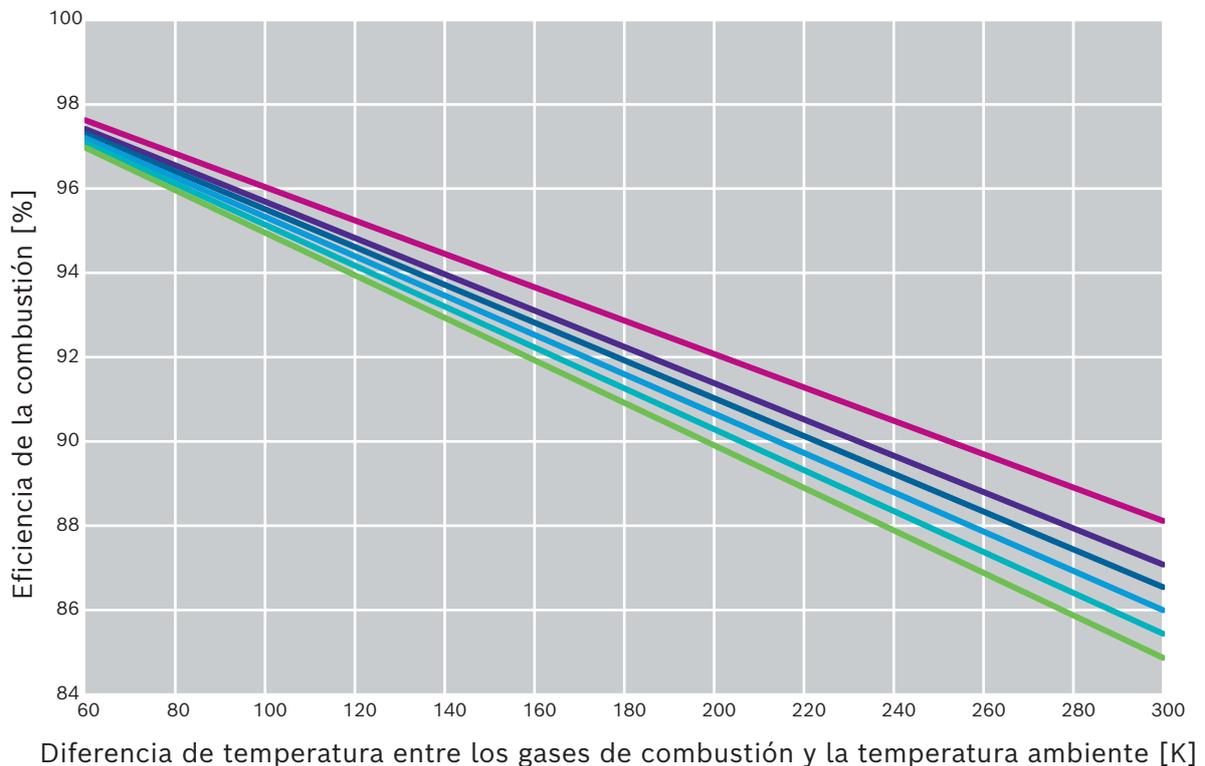
El rendimiento de la combustión aumenta a partir de la plena carga hasta aproximadamente el 35 % de carga parcial con un sistema de caldera. El exceso de aire y, por tanto, el contenido de  $\text{CO}_2$  medido en los gases de combustión secos aumenta sólo ligeramente, mientras que la temperatura de los gases de combustión desciende debido a una utilización más eficiente de la superficie de calentamiento de la caldera. A una carga parcial de  $< 35\%$ , prevalece la mayor cantidad de aire en exceso necesaria y la eficiencia de la combustión vuelve a caer.

→ Fig. 144, página 263

El rendimiento de la combustión se determina durante la medición de las emisiones realizada, por ejemplo, por el deshollinador o el servicio de atención al cliente. En este caso no se tienen en cuenta las pérdidas de calor por radiación y conducción en la superficie de la caldera.

La relación entre el rendimiento de la combustión y la temperatura de los gases de combustión con un exceso de aire variable se muestra en el siguiente diagrama para el combustible gas natural H. Cuanto mayor sea la temperatura de los gases de combustión, menor será el rendimiento.

El diagrama también muestra claramente que el aumento del rendimiento es especialmente elevado con menos exceso de aire, es decir, con valores  $\lambda$  bajos, sobre todo con temperaturas elevadas de los gases de combustión.



**Fig. 136** Curva de eficiencia con referencia al exceso de aire  $\lambda$  sin condensación, utilizando gas natural H como ejemplo

- $\lambda = 1$  ( $\text{O}_2 = 0\%$ )
- $\lambda = 1.2$  ( $\text{O}_2 = 3.96\%$ )
- $\lambda = 1.1$  ( $\text{O}_2 = 2.14\%$ )
- $\lambda = 1.25$  ( $\text{O}_2 = 4.77\%$ )
- $\lambda = 1.15$  ( $\text{O}_2 = 3.09\%$ )
- $\lambda = 1.3$  ( $\text{O}_2 = 5.52\%$ )



## 1.5 Eficiencia de la caldera

El rendimiento de la caldera  $\eta_{\text{boi}}$  es igual al rendimiento de la combustión menos las pérdidas de calor en la superficie de la caldera hacia el ambiente en el local de instalación durante el tiempo de funcionamiento del quemador. Se puede calcular de la siguiente manera:

$$\eta_{\text{boi}} = 100\% - q_A - \frac{\dot{Q}_{\text{l,boi}}}{\dot{Q}_{\text{bu}}}$$

oder

$$\eta_{\text{boi}} = \frac{(\dot{Q}_{\text{bu}} - q_A) \cdot (\dot{Q}_{\text{bu}} - \dot{Q}_{\text{l,boi}})}{\dot{Q}_{\text{bu}}}$$



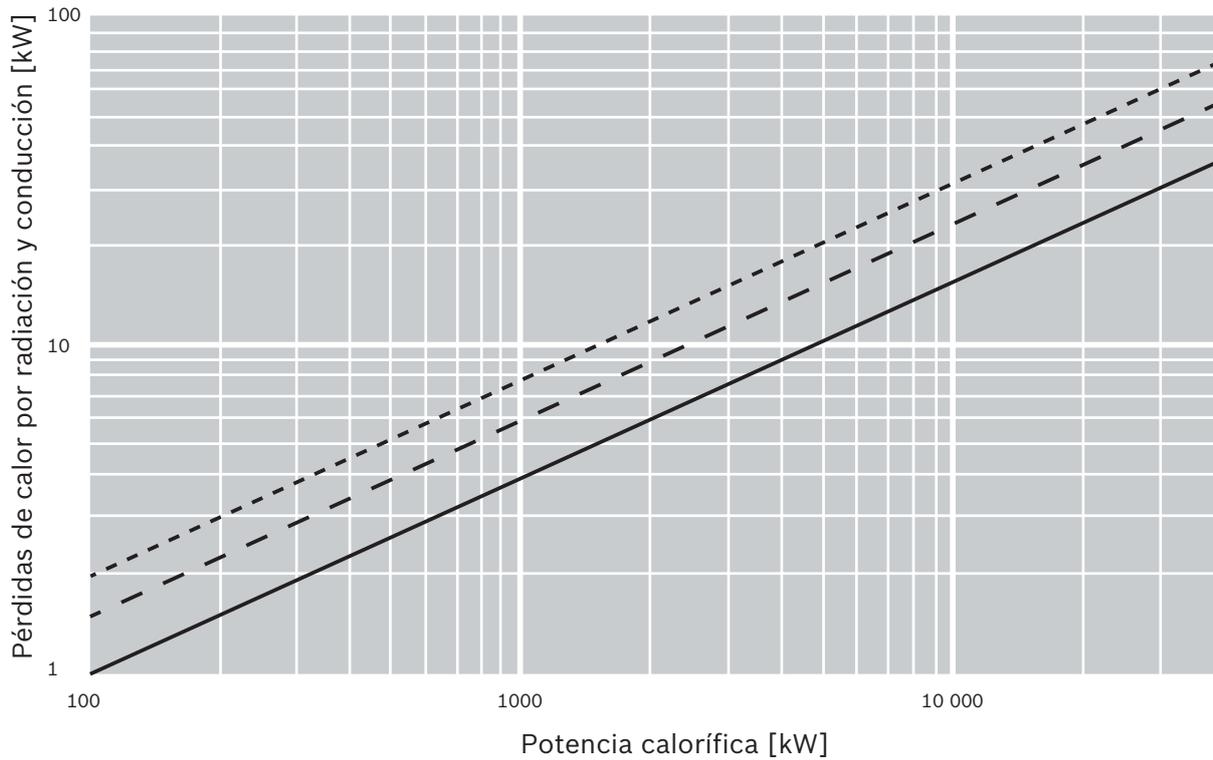
**F30.** Fórmula para calcular el rendimiento de la caldera

$\eta_{\text{boi}}$	Rendimiento de la caldera
$q_A$	Pérdida de gases de combustión en relación con la potencia de combustión y el valor calorífico neto inferior [%].
$\dot{Q}_{\text{l,boi}}$	Rendimiento de pérdida de calor del tipo de caldera [kW]
$\dot{Q}_{\text{bu}}$	Potencia de combustión actual de la caldera [kW]

→ Información técnica TI005: pérdidas de calor por radiación y conducción

Dado que las pérdidas de calor por radiación y conducción  $\dot{Q}_{\text{l,boi}}$  no suelen poder medirse o calcularse fácilmente, se utilizan los valores empíricos según la norma EN 12953 Parte 11. Éstos dependen, por un lado, de la potencia nominal del tipo de caldera y, por otro, de la temperatura del medio en el lado del agua/vapor dentro de la caldera y, por tanto, de la presión de funcionamiento.

Estas pérdidas de calor no dependen de la carga actual de la caldera ni del funcionamiento del quemador y son siempre las mismas con la misma presión de funcionamiento. Para el rendimiento de la caldera, esto significa que cuanto menor sea la carga actual del quemador, mayores serán las consecuencias de la pérdida de calor. El rendimiento de la pérdida de calor también se produce durante los periodos de inactividad del quemador. Durante los periodos de inactividad, por ejemplo durante el fin de semana o por la noche, estas pérdidas pueden minimizarse reduciendo la presión de funcionamiento y, por tanto, la temperatura de funcionamiento.



**Fig. 137** Pérdidas de calor por radiación y conducción en función de la potencia nominal de la caldera y de la temperatura media del medio en la caldera con un espesor de aislamiento de 100 mm.

- Temperatura media del medio 100 °C
- - - Temperatura media del medio 150 °C
- · · · · Temperatura media del medio 200 °C

En el caso del rendimiento de la combustión y del rendimiento de la caldera, en la documentación del fabricante se especifica la condición de carga nominal y, posiblemente, también condiciones específicas de carga parcial, por ejemplo, al 75 %, 50 % y 25 % de la potencia de la caldera. Sin embargo, un sistema de caldera de vapor funciona normalmente en todos los rangos de carga parcial. Cuando la tasa de extracción de vapor es muy baja, el sistema de caldera funciona incluso en un modo con fases de inactividad del quemador más largas.

Por lo tanto, el rendimiento de la caldera no puede utilizarse exclusivamente como criterio de eficiencia energética. Para poder tener más en cuenta los tiempos correspondientes en los que un sistema de caldera está parado y en los que tiene activado el funcionamiento del quemador, debe determinarse el grado de utilización como criterio de evaluación.



## 1.6 Grado de utilización

El grado de utilización de un sistema de calderas es un cociente formado por las cantidades de calor a lo largo de un periodo determinado (normalmente un año). En el caso de un sistema de calderas, se trata de la energía térmica utilizada en relación con la energía térmica suministrada por el combustible.

$$\text{Grado de utilización } \eta = \frac{\text{Energía de salida}}{\text{Energía de entrada}}$$



$$\eta = \frac{\int \dot{Q}_s dt}{\int \dot{Q}_{bu} dt}$$



**F31.** Fórmula para calcular el grado de utilización

$\eta$	Grado de utilización [%]
$\int \dot{Q}_s dt$	Potencia térmica acumulada de vapor a lo largo del tiempo [MWh]
$\int \dot{Q}_{bu} dt$	Potencia nominal de combustión acumulada a lo largo del tiempo [MWh].

El grado de utilización es un parámetro decisivo para la rentabilidad de la instalación en su conjunto. Abarca todas las pérdidas, es decir, las que se producen durante los periodos de inactividad, al arrancar y parar la instalación, durante los cambios de carga, durante la purga de superficie y la purga de fondo, en las tuberías y en los depósitos (por ejemplo, durante el tratamiento térmico del agua).

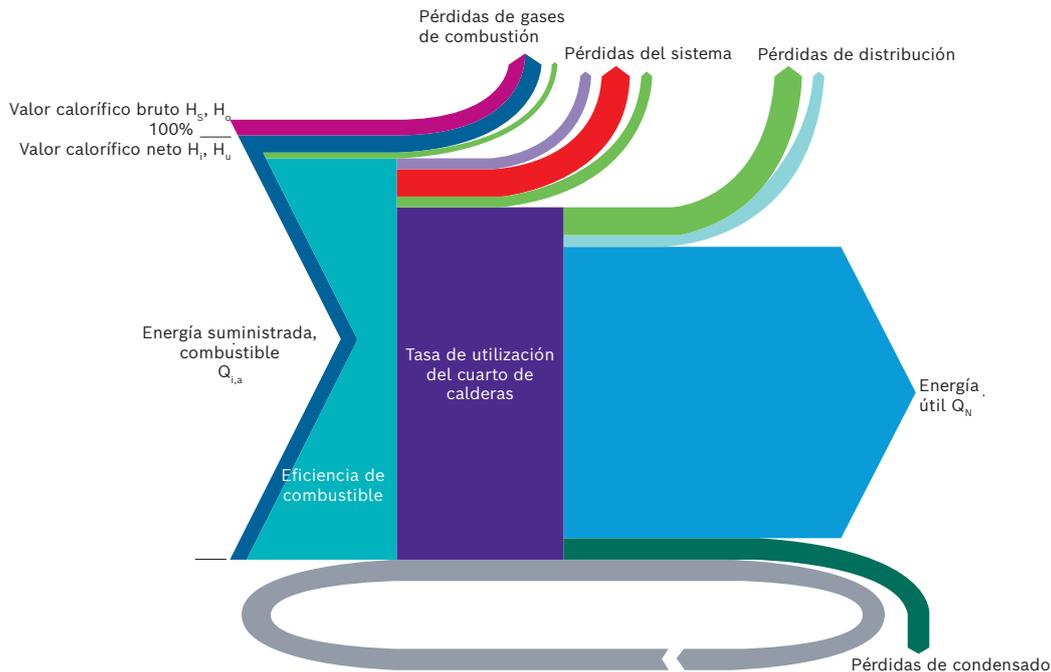
Sin embargo, esta importante variable sólo puede medirse correctamente con contadores de calor en los consumidores y contadores de combustible, y normalmente sólo se registra realmente en los sistemas completos de gestión de la energía.

## 1.7 Grado de utilización anual

$$\eta_a = \text{grado de utilización anual } [\%]$$



La energía térmica  $Q_{i,a}$  suministrada durante un año se determina en función de la energía real del combustible utilizado. Para ello, se mide la cantidad de combustible con contadores de gas o aceite y se multiplica por el poder calorífico neto.



**Fig. 138** Diagrama Sankey (diagrama de flujo de energía) de un sistema de caldera de vapor

- Calor latente de los gases de escape
- Calor sensible de los gases de combustión
- Radiación y conducción (incluidas las pérdidas por inactividad)
- Pérdidas previas a la ventilación
- Purga superficial y purga inferior, vapores de escape
- Fugas (en los desagües de condensados, tuberías)
- Falta de recirculación de condensados y vapores de escape
- Condensado recirculado

La cantidad de energía realmente utilizada durante el funcionamiento  $Q_{o,a}$  se determina utilizando un contador de vapor y una calculadora de cantidad de calor. La cantidad de calor en el vapor se calcula a partir de la cantidad de vapor y la presión del vapor, y posiblemente la temperatura del vapor.

Cuando se mide y se suma a lo largo de un año y se divide por la cantidad de energía del combustible, se obtiene el grado de utilización anual del sistema. El grado de utilización anual de un sistema de caldera de vapor incluye, por tanto, todas las pérdidas operativas de un sistema de caldera de vapor, como las pérdidas de gases de combustión, de sistema, de distribución y de condensado.

Un rendimiento de la caldera del 95 % puede ir acompañado de un grado de utilización anual real de sólo el 60 %. Especialmente si la carga media de la caldera es muy pequeña, las pérdidas por conducción y radiación, que generalmente no dependen de la carga de la caldera, son muy elevadas en relación con el calor combustible utilizado. A esto se añaden las pérdidas por la ventilación previa del sistema de calderas durante los ciclos del quemador y por el tratamiento del agua.

Si el sistema funciona a menudo sólo a carga parcial, las pérdidas pueden ser ocasionalmente del 20 ... 40 % del combustible necesario para el funcionamiento del sistema.



$$\text{Grado anual de utilización } \eta_a = \frac{\text{Energía de salida}}{\text{Energía de entrada}}$$



$$\eta_a = \frac{Q_{o,a}}{Q_{i,a}}$$



**F32.** Fórmula para calcular el grado de utilización anual

- a Basado en un año (los grados de utilización también pueden determinarse mensual o semanalmente)
- $Q_{o,a}$  Energía útil al año [MWh]
- $Q_{i,a}$  Energía suministrada al año [MWh]

### Rendimiento de la caldera con uso de condensación

Además de CO<sub>2</sub>, los gases de combustión producidos durante la combustión de las cadenas de hidrocarburos que se encuentran en la mayoría de los combustibles líquidos o gaseosos también incluyen H<sub>2</sub>O, es decir, agua. A altas temperaturas de los gases de combustión, esta agua está presente en forma de vapor.

Sin embargo, si la temperatura de los gases de combustión puede enfriarse localmente por debajo del punto de rocío, parte del vapor de agua de los gases de combustión se condensa en las superficies frías de transferencia de calor y puede aprovecharse el calor liberado durante este proceso.

En comparación con la fórmula para una caldera sin uso de condensación, la fórmula para el rendimiento de la caldera se amplía para incluir la fracción de condensación:

$$\eta_{\text{boi, valor calorífico bruto}} = \eta_{\text{boi, dry}} + \frac{H_s - H_i}{H_s} \cdot \alpha$$



**F33.** Fórmula para calcular el rendimiento de la caldera con uso de condensación

- $\eta_{\text{boi, valor calorífico bruto}}$  Rendimiento de la caldera con condensación
- $\eta_{\text{boi, dry}}$  Rendimiento de la caldera sin condensación
- $H_s$  Poder calorífico bruto [kWh/kg]
- $H_i$  Poder calorífico neto [kWh/kg]
- $\alpha$  Número de condensados (proporción de condensados)

El número de condensado especifica la relación entre la cantidad de condensado que se produce en la práctica y la cantidad de condensado que es teóricamente posible en los gases de combustión y normalmente tiene un valor de 0.3 ... 0.6, dependiendo del diseño.

Las eficiencias superiores al 100 % cuando se utiliza la tecnología de condensación no son perpetuum mobile, sino que pueden remontarse puramente a la base de referencia del valor calorífico neto  $H_i$ . Si la energía utilizada estuviera referenciada al valor calorífico bruto  $H_s$ , 100 % físicamente correcto, el 100 % sería la eficiencia máxima que podría alcanzarse sin pérdidas de ningún tipo. Sin embargo, para poder establecer comparaciones con los sistemas convencionales, se ha decidido mantener el valor calorífico neto como valor de referencia, también en el caso de las calderas de condensación.

→ Fig. 134, página 244

La diferencia entre el valor calorífico neto y el valor calorífico bruto es el calor latente en los gases de combustión y representa la proporción máxima de calor que también puede recuperarse debido a la condensación de la fracción de agua en los gases de combustión.

El objetivo del siguiente diagrama es dejar claro cómo la condensación de los gases de combustión aumenta la eficiencia y la optimización en términos de rentabilidad.

Cuando se utiliza gas como combustible, la eficiencia aumenta de forma lineal a medida que desciende la temperatura de los gases de combustión hasta que comienza la condensación de los mismos (con una temperatura de la superficie de calentamiento de aproximadamente 56 °C). Cuando comienza la condensación en los gases de combustión, el factor crucial ya no es la reducción de la temperatura, sino ante todo la tasa de condensación  $\alpha$  del vapor de agua en los gases de combustión. El diagrama muestra las diferentes tasas de condensación del 25, 50, 75 y 100 % como líneas azules discontinuas. Con una tasa de condensación correspondientemente mayor, la eficiencia sigue aumentando a saltos.

En el diagrama para el gas natural H se alcanza un rendimiento del 100.9 % con una tasa de acumulación de condensado del 34 % y una temperatura media medida de los gases de combustión de 75 °C, por ejemplo.

→ Fig. 139, página 257

Además de la cantidad de agua, la mayor distancia posible entre la temperatura de entrada del agua y el punto de rocío mínimo es decisiva para la tasa de acumulación de condensado. Esto se muestra en el diagrama mediante la curva de eficiencia roja (gas natural H) o morada (fuel-oil EL), que depende de la temperatura.

El área coloreada en azul representa el rango de condensación de gases de combustión técnicamente alcanzable para los sistemas de calderas de vapor.

#### 1 Ejemplo 1:

- Economizador
- Exceso de aire  $\lambda = 1.1$
- Temperatura del agua de alimentación en la entrada Eco 103 °C
- Temperatura de descarga de los gases de combustión 126 °C

#### Gas Natural H:

- Temperatura de descarga de los gases de combustión 126 °C
- Eficiencia 95.4

#### Fuelóleo EL:

- Temperatura de descarga de los gases de combustión 126 °C
- Eficiencia 95.6

#### 2 Ejemplo 2:

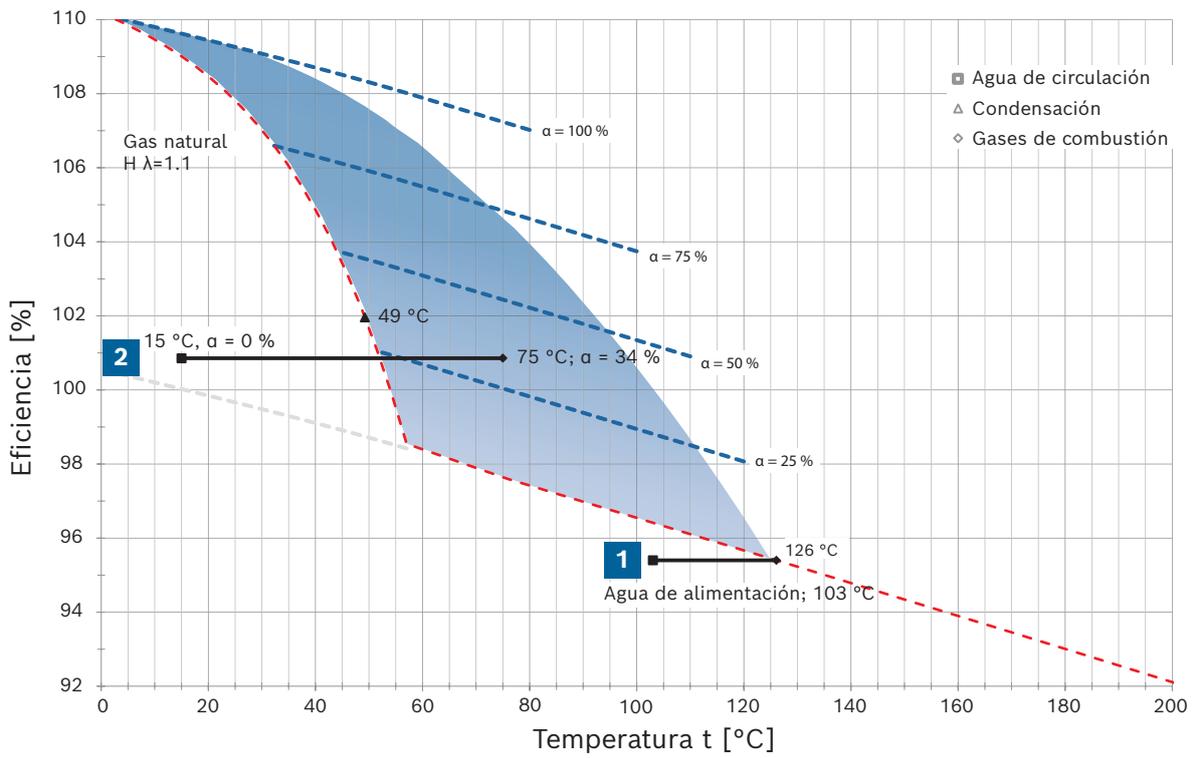
- Intercambiador de calor de condensación
- Exceso de aire  $\lambda = 1.1$
- Temp. de entrada del agua de reposición 15 °C

#### Gas Natural H:

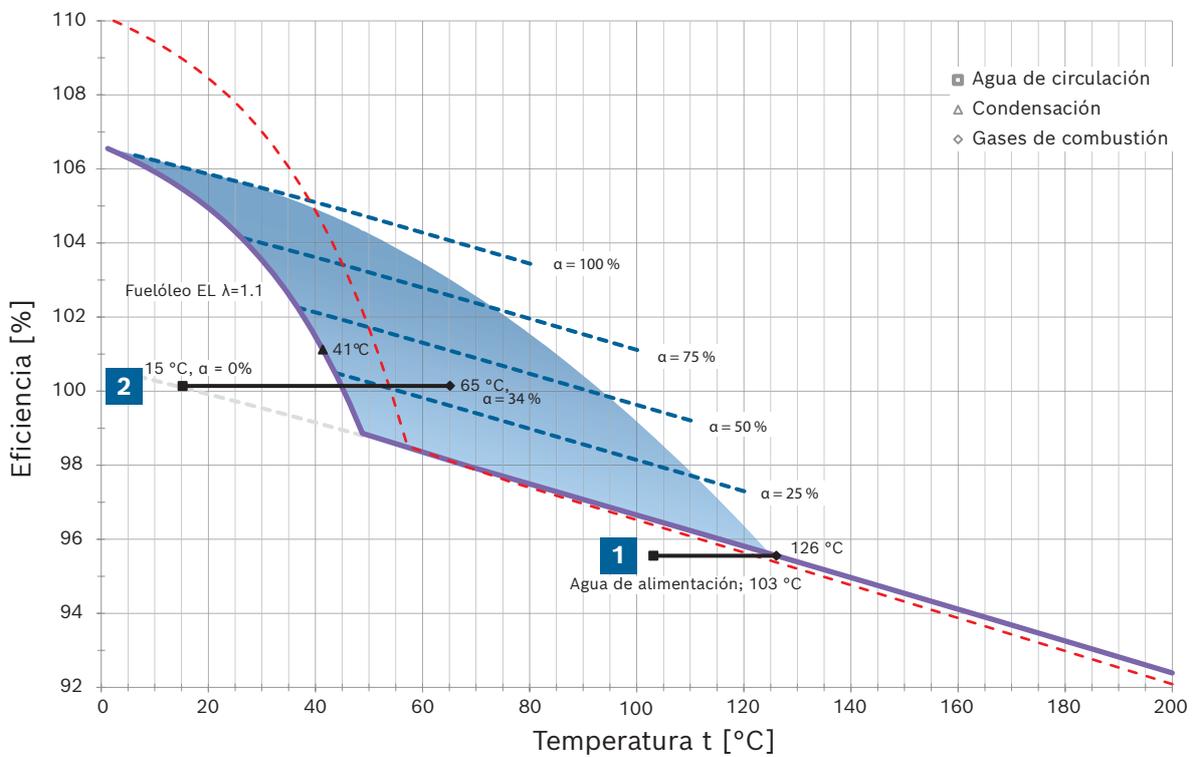
- Temperatura de evacuación de gases de combustión 75 °C
- Proporción de condensado, intercambiador de calor de condensación  $\alpha = 34 \%$
- Temperatura de descarga de los gases de combustión 126 °C
- Eficiencia 95.4

#### Fuelóleo EL:

- Temperatura de evacuación de gases de combustión 65 °C
- Proporción de condensado, intercambiador de calor de condensación  $\alpha = 34 \%$
- Temperatura condensados 41 °C
- Eficiencia 100.2 %



**Fig. 139** Progresión del rendimiento de combustión en función de la temperatura de los gases de combustión con gas natural  $H$  ( $H_i = 10.35 \text{ kWh}/m_n^3$ ,  $T_L = 20 \text{ °C}$ )



**Fig. 140** Progresión del rendimiento de combustión en función de la temperatura de los gases de combustión con fuel-oil EL ( $H_i = 11.89 \text{ kWh}/kg$ ,  $T_L = 20 \text{ °C}$ )

Especialmente cuando se utiliza aceite como combustible, hay que tener en cuenta que, dado que la composición del combustible es diferente a la del gas, la fracción de vapor de agua en los gases de combustión es significativamente menor y, por lo tanto, el aumento de eficiencia debido a la condensación también es correspondientemente menor.

## 1.8 Análisis de costes de operación

Para mantener los costes de combustible de un sistema de calderas lo más bajos posible, es importante el grado de utilización anual alcanzado en la práctica. Para poder sacar conclusiones sobre los costes de operación globales, también hay que tener en cuenta el coste de la energía eléctrica necesaria para hacer funcionar los ventiladores y las bombas, los costes de las aguas residuales y de evacuación del agua y, en última instancia, también los gastos de funcionamiento, mantenimiento e inspección.

A la hora de realizar una evaluación global deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- El balance energético y de masa de la caldera
- El balance de energía y masa de todo el sistema de vapor, incluido el tratamiento del agua, todas las tuberías, todos los consumidores y el sistema de condensado.
- Mantenimiento y efectos operativos en el sistema
- Opciones de optimización mediante la combinación con tecnologías adicionales, como la producción combinada de calor y electricidad o el calor solar.

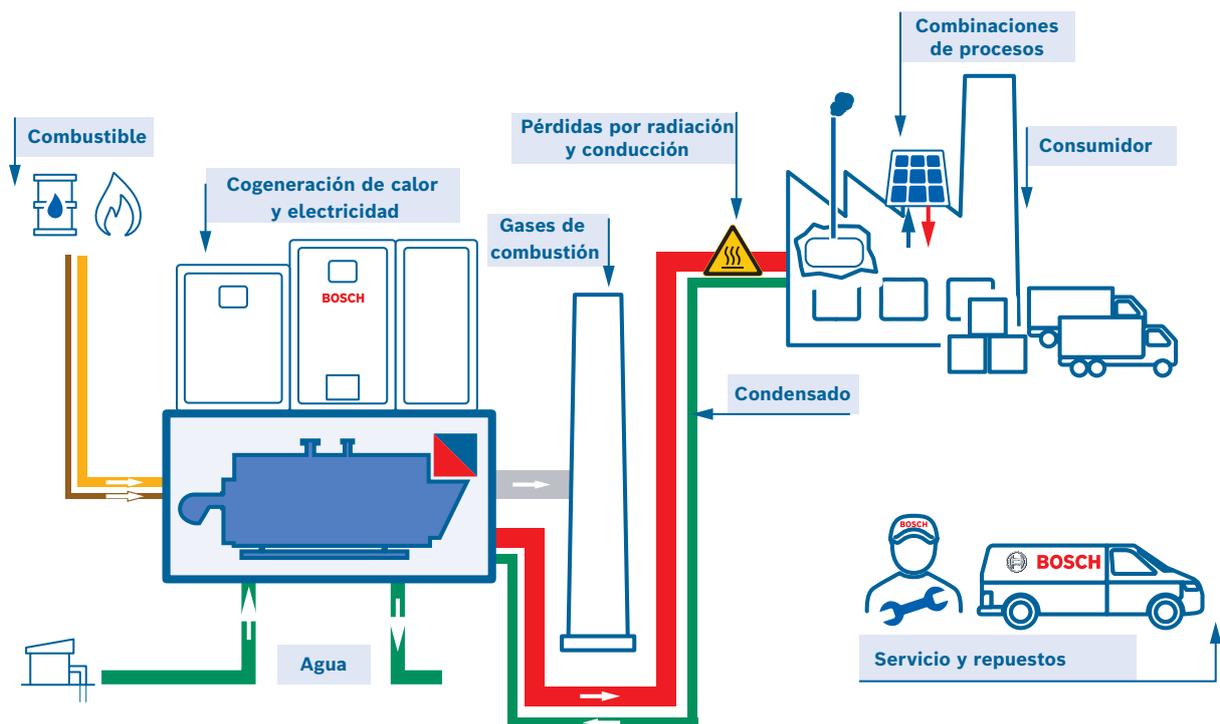


Fig. 141 Factores que influyen en la evaluación global de los costes de operación de un sistema de calderas de vapor







## 2 Aumento de la eficiencia de combustión

### 2.1 Temperatura o pérdida de gases de combustión

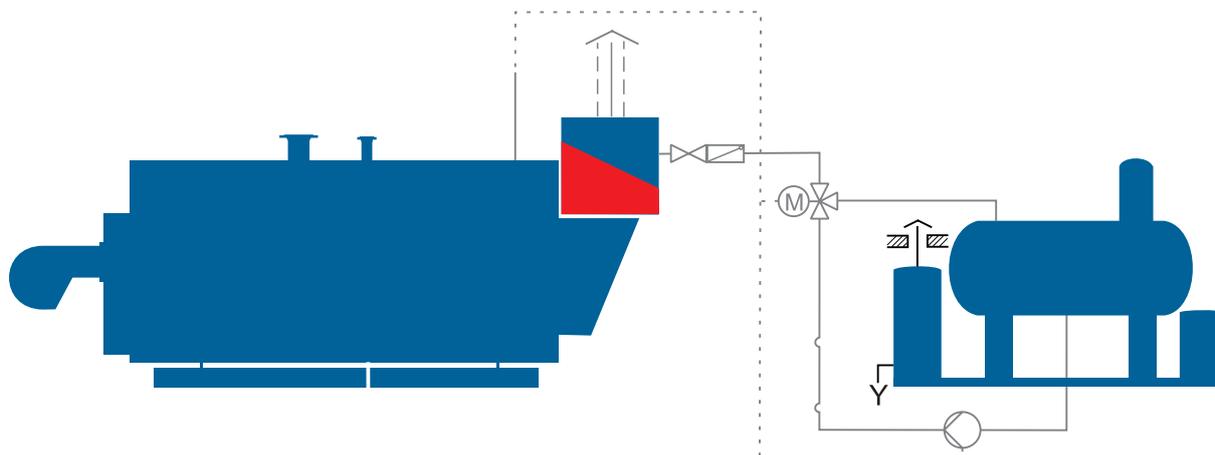
#### 2.1.1 Economizador

La temperatura de los gases de combustión a la salida de la caldera suele ser unos 60 K superior a la temperatura del vapor saturado en el interior de la caldera de vapor.

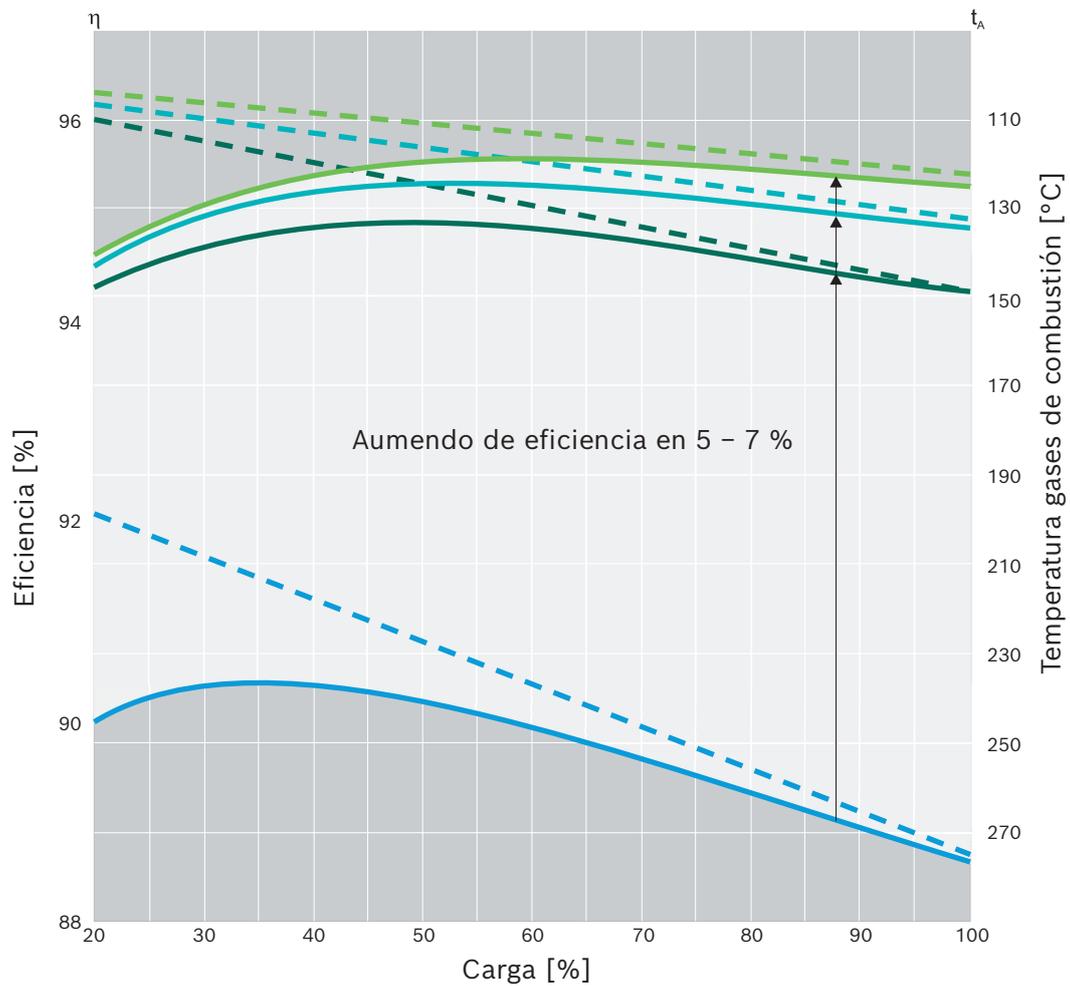
→ Fig. 65, página 149

A una presión de funcionamiento de 10 bares, que corresponde a una temperatura de vapor saturado de 185 °C, la temperatura de los gases de combustión es de aproximadamente 245 °C. Esto corresponde a una pérdida de gases de combustión de aproximadamente el 11 %. Esto corresponde a una pérdida de gases de combustión de aproximadamente el 11 %. Como se muestra en el gráfico (Fig. 143, página 262), la pérdida de gases de combustión se puede reducir en aproximadamente 1 punto porcentual, o aumentar el rendimiento de la caldera en consecuencia, con cada reducción de 20 °C en la temperatura de los gases de combustión.

Utilizando un economizador integrado o conectado a continuación, la temperatura de los gases de combustión puede reducirse a 120 ... 140 °C, dependiendo del diseño del economizador, lo que reduce significativamente la pérdida de gases de combustión. Durante este proceso, el calor de los gases de combustión se transfiere al agua de alimentación de la caldera que fluye en contracorriente. El calor extraído del flujo de gases de combustión se introduce en la caldera a través del agua de alimentación calentada. Esto aumenta el rendimiento de la combustión en un 5 ... 7 %.



**Fig. 142** Diagrama de flujo simplificado de un sistema de caldera de vapor con economizador integrado



**Fig. 143** Aumento de la eficiencia con economizadores de distintos tamaños (del I al III)

η	—	ECO III	t <sub>A</sub>	—	ECO III
	—	ECO II		—	ECO II
	—	ECO I		—	ECO I
	—	sin		—	sin

Los economizadores no regulados consiguen un aumento óptimo de la eficiencia porque en carga parcial se aprovecha al máximo la superficie de calefacción disponible para enfriar los gases de combustión.

→ Tecnología – Capítulo 3.3: Economizador, página 148

Si hay que tener en cuenta la temperatura mínima de la chimenea, los economizadores pueden diseñarse individualmente para las distintas temperaturas de entrada y salida de los gases de combustión.

Para alcanzar un alto grado de eficiencia económica mediante una baja temperatura de los gases de combustión, por un lado, y para cumplir la temperatura mínima de los gases de combustión permitida para la chimenea, por otro, son componentes necesarios de la caldera un regulador continuo del agua de alimentación y un control de derivación del agua. Hoy en día, el economizador integrado es una característica estándar de una caldera de vapor en más o menos todas las aplicaciones. Normalmente se amortiza en pocos meses.



### 2.1.2 Intercambiador de calor de condensación

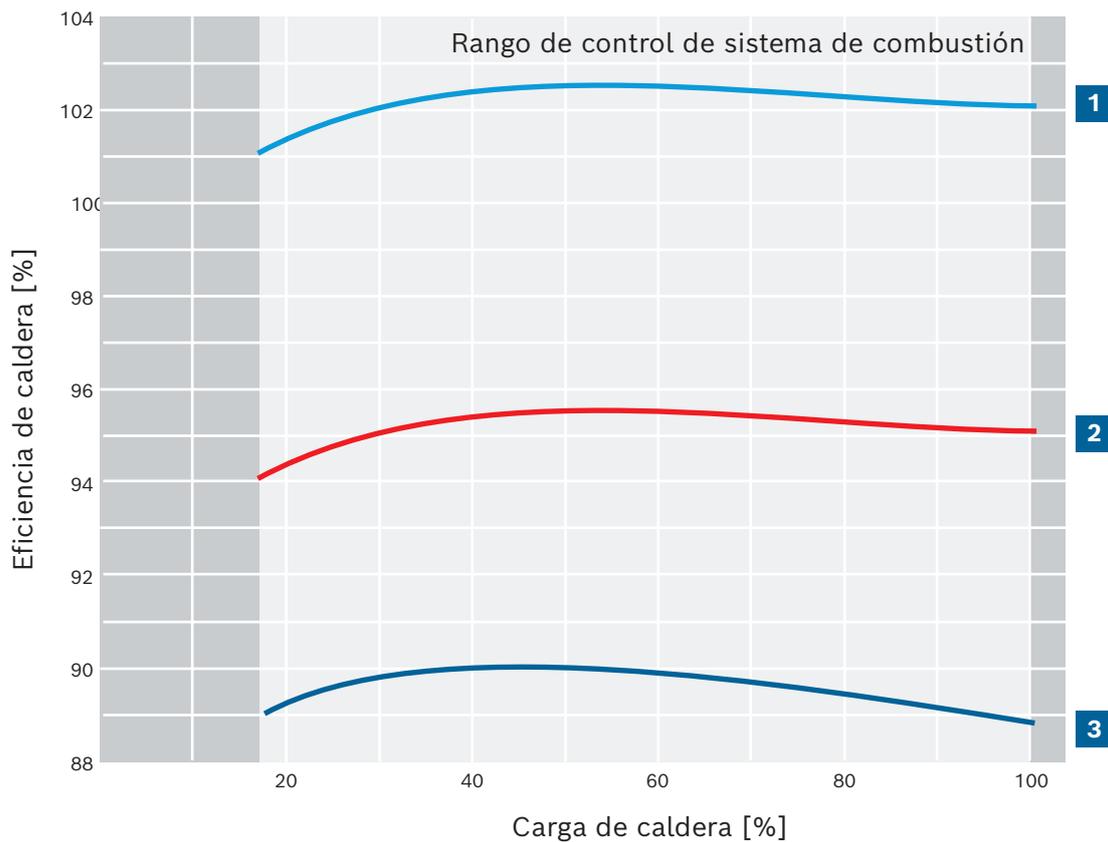
Cuando se utiliza la tecnología de condensación, no sólo se elimina parcialmente de los gases de combustión el calor sensible que está directamente relacionado con la temperatura, sino también el calor de condensación latente en el vapor de agua. Se produce un condensado líquido de los gases de combustión que debe retirarse del recorrido de los gases de combustión, neutralizarse e introducirse en el sistema de alcantarillado.

Esto es posible sin causar daños por corrosión a largo plazo utilizando materiales resistentes a la corrosión en los intercambiadores de calor, sistemas de gases de combustión resistentes a la humedad y chimeneas de acero inoxidable.

Si se dan las condiciones marco adecuadas, es posible una mejora adicional de la eficiencia de hasta el 7 %. Para ello, el economizador de condensación se conecta siempre después del economizador seco en el lado de los gases de combustión.

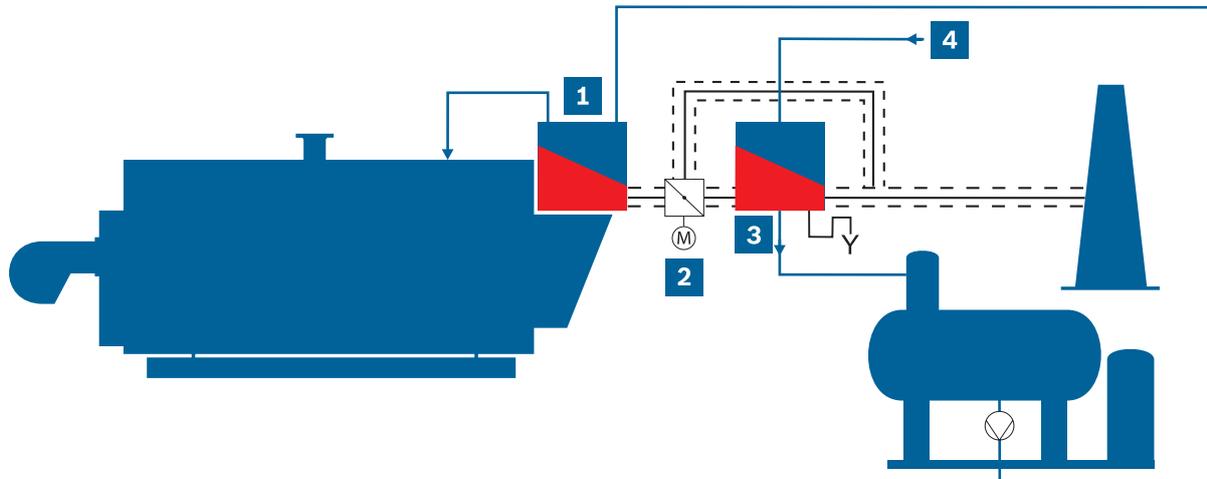
→ Fig. 144, página 263

A modo de ejemplo, el siguiente gráfico muestra el rendimiento de la caldera en función de su carga.



**Fig. 144** Curva de rendimiento en función de la carga de la caldera de una caldera sin economizador, una caldera con economizador y una caldera con economizador e intercambiador de calor de condensación adicional

- 1** Caldera de vapor con economizador e intercambiador de condensación aguas arriba
- 2** Caldera de vapor con economizador
- 3** Caldera de vapor sin economizador



**Fig. 145** Diagrama de flujo simplificado de un sistema de caldera de vapor con economizador integrado e intercambiador de calor de condensación a continuación

- 1** Economizador integrado (acero)
- 2** Tapa de derivación de gases de combustión
- 3** Intercambiador de calor de condensación (acero inoxidable)
- 4** Agua de reposición

Para que un intercambiador de calor de condensación funcione eficazmente, se necesita un caudal de agua suficientemente grande ( $> 30\%$  de la producción de vapor de la caldera) y fría (temperatura  $< 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) como disipador de calor a baja temperatura. Debe estar disponible cuando la caldera de vapor esté en funcionamiento.

→ Fig. 145, página 264

En los sistemas de calderas de vapor, puede ser el agua de reposición utilizada para rellenar el depósito de agua de alimentación. Esto se aplica especialmente a los sistemas con calentamiento directo de vapor en los que no se recupera condensado o se recupera muy poco ( $< 50\%$  de la producción de vapor) (por ejemplo, al fabricar poliestireno expandido o pan y también para humidificación o secado). Además, siempre hay que compensar las pérdidas de agua como resultado de la purga de superficie, la purga de fondo, la reevaporación y las fugas en el sistema de vapor.

Las cantidades perdidas varían considerablemente en función del sistema concreto. Pueden ser mucho más de la mitad de la cantidad de vapor producida y también deben reponerse con agua de reposición. La temperatura máxima del agua de reposición tras el tratamiento del agua suele ser de  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , lo que la hace muy adecuada para el precalentamiento en el intercambiador de calor de condensación.

La baja temperatura de entrada del agua permite una amplia condensación de los gases de combustión y, por tanto, un uso óptimo de la tecnología de condensación. Con esta aplicación, el factor de diversidad entre la disponibilidad de calor residual y la demanda de energía térmica también está disponible durante el funcionamiento rutinario, lo que significa que esta ventaja siempre existe.

Sin embargo, con caudales de condensado elevados, el caudal de agua de reposición necesario es pequeño, lo que significa que un intercambiador de calor de condensación no siempre es rentable.



No obstante, la tecnología de condensación puede seguir utilizándose siempre que se disponga de un circuito de agua a baja temperatura adecuado. El calor de condensación que se libera puede utilizarse, por ejemplo, para calentar el agua de proceso, especialmente en la industria alimentaria, o como apoyo a la calefacción central.

A diferencia de los sistemas de calefacción de edificios, que tienen temperaturas de sistema y de retorno claramente definidas, la industria se caracteriza por una amplísima gama de sistemas de aplicación de vapor y sistemas de calefacción. Por tanto, compiten entre sí una gran diversidad de sistemas de ahorro energético y recuperación de calor.

Para encontrar la solución más económica es necesario realizar un análisis exhaustivo de todos los proveedores y consumidores de calor residual. Para garantizar que la tecnología de condensación se utiliza de forma óptima, es especialmente indispensable una estrecha colaboración entre operadores, planificadores y fabricantes de calderas a la hora de determinar qué medidas de entre las innumerables opciones disponibles son las más eficientes.

Si no se dispone de un consumidor de calor adecuado para el calor de condensación de los gases de combustión, el precalentamiento del aire es una medida que puede utilizarse para aumentar la eficiencia y que se describe en el capítulo siguiente.

### 2.1.3 Precalentador de aire



**Fig. 146** Precalentador de aire

El precalentador de aire puede utilizarse como medida de mejora de la eficiencia en sistemas nuevos que se instalen junto con economizadores.



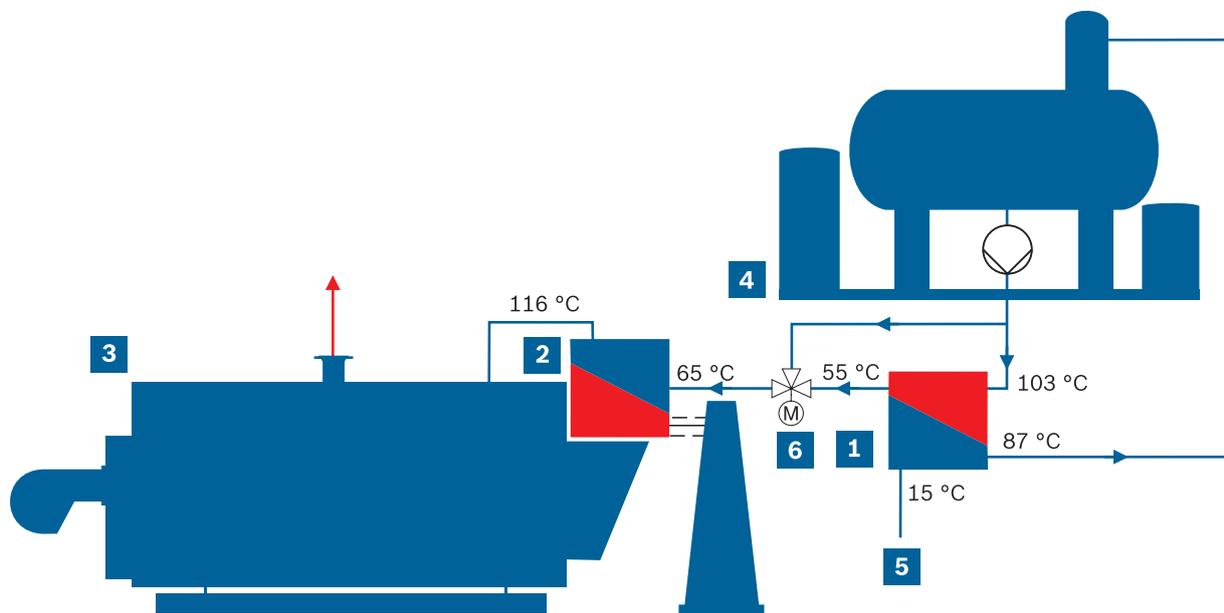


### 2.1.4 Enfriador de agua de alimentación



**Fig. 148** Módulo enfriador de agua de alimentación

La temperatura de los gases de combustión es decisiva para el rendimiento de la combustión de las calderas de vapor sin condensación de los gases de combustión. Sin embargo, el agua de alimentación utilizada en el economizador para enfriar los gases de combustión en los sistemas con desgasificación térmica no está más fría de 103 °C. Esto sólo puede utilizarse para reducir económicamente la temperatura de los gases de combustión en el economizador a unos 120 °C.



**Fig. 149** Módulo de refrigeración del agua de alimentación

- |   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| <b>1</b> Módulo de refrigeración del agua de alimentación | <b>4</b> Módulo de servicio de agua |
| <b>2</b> Economizador                                     | <b>5</b> Agua de reposición         |
| <b>3</b> Caldera de vapor                                 | <b>6</b> Válvula de 3 vías          |

Sin embargo, si en el sistema global hay consumidores de calor con un nivel de temperatura inferior a 100 °C, por ejemplo, el calentamiento del agua de reposición del sistema de calderas de vapor, un sistema de calefacción de edificios o un sistema de calentamiento del agua de proceso, la temperatura del agua de alimentación puede reducirse de 103 °C a 65 °C mediante un sencillo y económico intercambiador de calor de placas. Debido a la mayor diferencia entre la temperatura de los gases de combustión y la del agua de alimentación, los gases de combustión también pueden enfriarse ahora hasta aproximadamente 85 °C sin necesidad de invertir más en el economizador. Esto aumenta la eficiencia de la combustión y permite ahorrar hasta un 1.8% de combustible.

Esta medida de mejora de la eficiencia también puede instalarse posteriormente en instalaciones existentes con una inversión relativamente pequeña.

### 2.1.5 Resumen

La optimización de la reducción de las pérdidas de gases de combustión es una tarea prioritaria en la planificación y también en el funcionamiento de las instalaciones de calderas de vapor. A menudo se plantea la siguiente pregunta al respecto:

#### ¿Qué medida o combinaciones de medidas conseguirán la mejor recuperación de calor?

El siguiente diagrama muestra las medidas para reducir las pérdidas de gases de combustión descritas en secciones anteriores utilizando una caldera de vapor como ejemplo.

La tecnología más adecuada para una eficiencia económica óptima de un sistema de caldera de vapor depende de la aplicación en cada caso. El "tamaño" y el nivel de temperatura de un disipador de calor de baja temperatura son especialmente decisivos a la hora de elegir la medida de mejora de la eficiencia.

#### Ejemplo:

Tasa de acumulación de condensado	$c = \dot{m}_{Co} / \dot{m}_S$
Tasa de agua de reposición	$z = 1 - c$
UL-S	10,000 x 16
Salida de vapor del sistema	10,000 kg/h with $p_{avg} = 13$ bar
Caudal de purga	5 %

Caso	Componente	Eficiencia	
		Componentes	total
1	Caldera	88.9 %	---
2	Caldera + economizador	88.9 % + 6.5 %	95.4 %
3	Caldera + economizador + intercambiador de condensación (con $z = 0.3 / \alpha = 12$ %)	88.9 % + 6.5 % + 2.8 %	98.2 %
4	Caldera + economizador + intercambiador de condensación (con $z = 0.5 / \alpha = 20$ %)	88.9 % + 6.5 % + 3.8 %	99.2 %
5	Caldera + economizador + intercambiador de condensación (con $z = 1 / \alpha = 34$ %)	88.9 % + 6.5 % + 7.6 %	100.9 %
6	Caldera + economizador + precalentamiento del aire (20 °C hasta 65 °C)	88.9 % + 6.5 % + 1.7 %	97.1 %
7	Caldera + economizador + refrigeración del agua de alimentación (con $z = 0.3$ )	88.9 % + 6.5 % + 0.6 %	96.0 %

Tab. 27 Casos prácticos de combinaciones de medidas para la mejor recuperación de calor



## 2.2 Aumento de la eficiencia del sistema de quemadores

### 2.2.1 Ventilador de aire de combustión

Se requiere una mezcla óptima de combustible y aire para lograr una combustión completa. Sin embargo, las calderas industriales suelen funcionar a carga parcial. En este modo de funcionamiento se reducen tanto el suministro de combustible como el de aire.

El ventilador de aire de combustión sin regulación de velocidad también funciona en los rangos de carga parcial a velocidad nominal, ya que en este caso la cantidad de aire suministrada para la combustión se limita únicamente mediante el cierre de las compuertas de aire. En este caso el ventilador consume una gran cantidad de energía eléctrica que desaparece sin ningún beneficio debido a la restricción. Si la cantidad de aire se modifica principalmente mediante la modulación de la velocidad del ventilador, el consumo eléctrico en los rangos de carga parcial es mucho menor.

El comportamiento de generación de ruido también va en la misma línea que la reducción del consumo eléctrico. Todos los sistemas que suelen funcionar en rangos de carga parcial durante periodos prolongados deberían estar equipados con ventiladores de velocidad regulada.

Se puede ahorrar alrededor del 40 % de la energía eléctrica utilizando un perfil de carga del quemador con una utilización media de la capacidad. Con ello se consigue normalmente un ahorro anual de cuatro cifras en euros, lo que significa que un quemador con control de velocidad se amortiza normalmente en un año.

#### Ejemplo:

Potencia de la caldera	10 t/h
Ventilador del quemador	22 kW
Ahorro de electricidad	cerca de 48,000 kWh/a (42 %)
Ahorro de costes	cerca de 6,720 €/a (precio de electricidad 0.14 €/kWh)

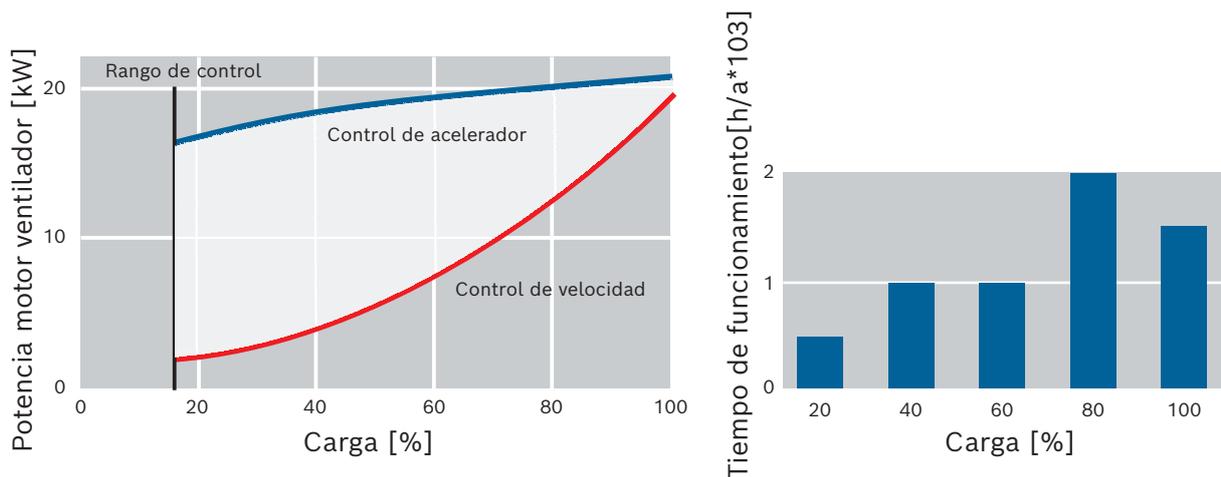


Fig. 151 Ahorro de energía con el ventilador del quemador de velocidad controlada

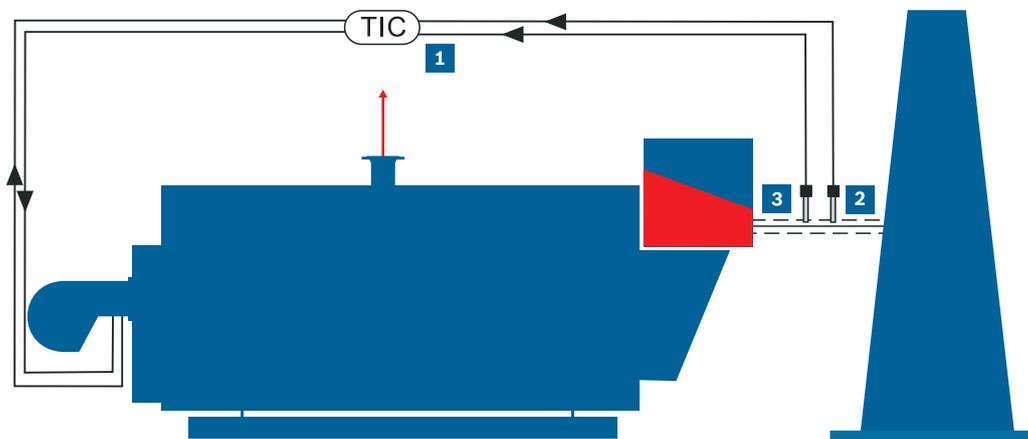
### 2.2.2 Exceso de aire

En la tecnología de la combustión, la situación ideal es la combustión estequiométrica. Esto ocurre si todas las moléculas de combustible reaccionan completamente con el oxígeno sin dejar combustible u oxígeno sin quemar.



Si no se suministra suficiente oxígeno atmosférico durante el proceso de combustión, puede producirse una reacción de combustión incompleta. Una consecuencia negativa de ello sería la formación de monóxido de carbono, un gas altamente tóxico. Si la cantidad de aire aumenta demasiado rápido, todas las moléculas de combustible ya han reaccionado con las moléculas de oxígeno. Las moléculas de oxígeno restantes forman un excedente que no se necesita. Como normalmente se utiliza el aire frío del ambiente como aire de combustión, este aire frío se acaba calentando con un volumen innecesariamente alto de aire sobrante, que se libera a la atmósfera junto con los gases de combustión.

Por lo tanto, un ajuste óptimo del aire de combustión es importante para un funcionamiento eficaz y una combustión segura y limpia. Esto es atribuible, por un lado, a las fluctuaciones de la presión, la temperatura y la humedad del aire y, por otro, a las fluctuaciones de la calidad del combustible, que aumentarán. Por otro lado, debe especificarse una cierta cantidad de exceso de aire en comparación con el ideal teórico para proporcionar un margen de seguridad. Por último, no debe permitirse en ningún caso la formación de monóxido de carbono, un gas venenoso y explosivo. Estos ajustes se realizan y comprueban normalmente al poner en servicio el sistema de calderas y al realizar el mantenimiento trimestral o semestral.

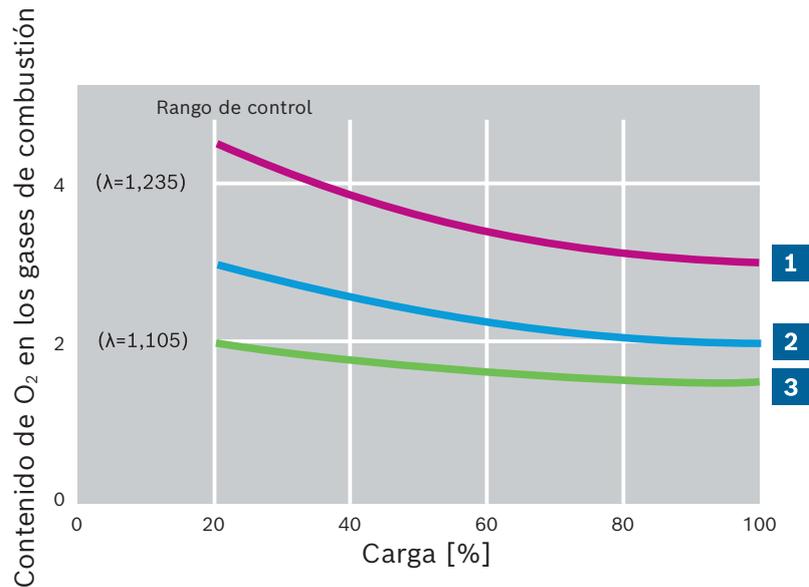


**Fig. 152** Control  $O_2$  y CO en la caldera de vapor (representación simplificada)

- |                                   |                           |
|-----------------------------------|---------------------------|
| <b>1</b> Control                  | — Vapor                   |
| <b>2</b> Sonda de prueba de $O_2$ | ----- Gases de combustión |
| <b>3</b> Sonda de prueba de CO    |                           |

Además, para poder operar los sistemas más cerca del punto de funcionamiento óptimo en condiciones variables, se necesitan unidades de medición y control continuas. Un control de  $O_2$  consiste esencialmente en una sonda de medición de oxígeno que se instala en el flujo de gases de combustión y una unidad de control. Esta registra continuamente el contenido residual de oxígeno en los gases de combustión y envía la señal al control del quemador, que ajusta la cantidad de aire según sea necesario.

Desde hace algunos años se dispone de electrodos combinados ( $O_2$  y CO). En combinación con la medición de CO, el exceso de aire  $\lambda$  puede ajustarse con mayor precisión al límite de CO. Cuando se utiliza un control de  $O_2$  y CO, el ajuste utilizado normalmente para el exceso de aire a plena carga de 3 ... 4 % en vol. de oxígeno en los gases de combustión puede reducirse a 0.5 ... 1.0 % en vol. de oxígeno. Esto equivale a una reducción de la pérdida de gases de combustión de aproximadamente 1 punto porcentual a la misma temperatura de los gases de combustión. El control de  $O_2$  y CO no puede utilizarse cuando se utiliza aceite como combustible.



**Fig. 153** Contenido residual de oxígeno y exceso de aire mediante el control de O<sub>2</sub> y CO a través de la carga del quemador

- 1** Sin control
- 2** Sin O<sub>2</sub> control
- 3** Sin CO control

### 2.2.3 Ajuste de la potencia

En las instalaciones existentes, y también ocasionalmente en las nuevas, la potencia disponible de la caldera es muy superior a la potencia real de vapor necesaria.

Las causas de ello son frecuentes:

- **Reducción de la demanda en sistemas existentes**, por ejemplo, porque ya no existen consumidores o porque se han aprovechado posteriormente los potenciales de recuperación de calor existentes.
- **Sobredimensionamiento durante la planificación de nuevos sistemas**, por ejemplo, debido a factores de diversidad incorrectos de los consumidores, a la consideración de reservas de energía demasiado elevadas o a una ampliación de los consumidores que ya se ha tenido en cuenta pero que aún no se ha llevado a cabo.

Como consecuencia, la tasa de extracción de vapor es demasiado baja en relación con la potencia de la caldera, lo que provoca un elevado número de operaciones de encendido y apagado del quemador. Esto provoca pérdidas de precalentamiento y también tensiones debidas a fluctuaciones de temperatura que pueden ser extremas, especialmente con tiempos de precalentamiento largos.

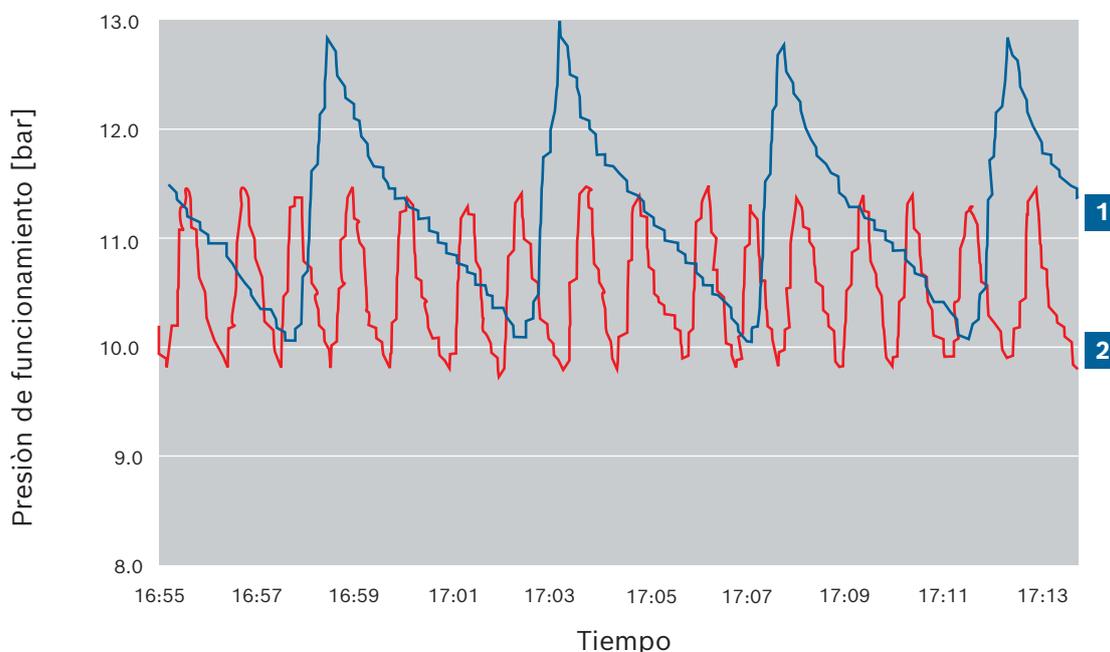
→ Eficiencia – Capítulo 2.2.4: Precaentamiento, página 273

Se pueden tomar las siguientes medidas para compensar una potencia de caldera demasiado elevada:

- Instalación de controles de baja carga que pospongan la subida inmediata tras el arranque del quemador



- Utilización de reguladores de potencia que permiten que el quemador se adhiera a la etapa de carga baja durante un periodo ilimitado
- Utilización de quemadores con un rango de control elevado
- Adaptación de la potencia del quemador a las necesidades reales. Para ello es necesario modificar el quemador o añadir un quemador con un rango de potencia menor.



**Fig. 154** Curva de presión antes y después de ajustar la potencia del quemador

- 1** Curva de presión antes de regular la potencia del quemador
- 2** Curva de presión después de ajustar la potencia del quemador

### 2.2.4 Preventilación

Antes de cada puesta en marcha del quemador debe garantizarse que no haya mezclas inflamables en los conductos de gases de combustión. Esto se consigue en la práctica mediante la ventilación previa. Antes de que el quemador encienda la llama, el ventilador de aire de combustión se pone en marcha y empuja el aire ambiente a través de los conductos de gases de combustión calientes que todavía están a temperatura de ebullición. Esto calienta el aire frío y extrae calor de la caldera. Se prescribe un cambio de aire suficiente, lo que puede dar lugar a una pérdida de energía no despreciable, especialmente con arranques frecuentes del quemador.

Por regla general, el tiempo de ventilación previa debe dimensionarse de forma que se consiga un cambio de aire de 2 ... 3 veces, con referencia a todo el sistema de gases de combustión. El diseño debe acordarse con la autoridad de supervisión técnica. Los arranques frecuentes del quemador no sólo son antieconómicos, sino que también tienen un efecto perjudicial sobre la vida útil. Una situación ideal sería 1 ... 2 ciclos de encendido del quemador por hora. Si hay más de 4 ciclos de encendido del quemador por hora, deben tomarse medidas para reducir el número de ciclos de encendido del quemador, por ejemplo, ajustando la potencia del quemador.

→ Eficiencia – Capítulo 2.2.3: Ajuste de la potencia, página 272

$$Q_{l,\text{pre-ventilación}} = 1.26 \cdot \dot{Q}_{\text{bu}} \cdot \Delta T \cdot t \cdot 10^{-7}$$



**F34.** Ecuación para el cálculo aproximado de las pérdidas previas a la ventilación

$Q_{l,\text{pre-ventilación}}$	Pérdida de pre-ventilación del sistema [kWh]
$\dot{Q}_{\text{bu}}$	Capacidad de combustión del sistema [kW]
$\Delta T$	Diferencial de temperatura entre el medio en la caldera y el aire ambiente aspirado [K]
$t$	Suma de los tiempos de apertura y cierre del actuador y del tiempo de pre-ventilación

$$\dot{Q}_{\text{bu}} \approx \dot{m}_s \cdot \frac{0.65}{\eta}$$



**F35.** Ecuación para el cálculo aproximado de la potencia de combustión del sistema

$\dot{Q}_{\text{bu}}$	Capacidad de combustión del sistema [kW]
$\dot{m}_s$	Producción de vapor [kg/h]
$\eta$	Rendimiento de la caldera incluido el economizador [%]

$$\Delta T = T_{\text{boi}} - T_A = T_s (p_{\text{avg}}=13 \text{ bar}) - T_L$$



**F36.** Ecuación para el cálculo de la diferencia de temperatura entre el medio en la caldera y el aire ambiente aspirado

$\Delta T$	Diferencia de temperatura entre el medio en la caldera y el aire ambiente aspirado [K].
$T_{\text{boi}}$	Temperaturas del medio en la caldera [K]
$T_A$	Temperaturas del aire ambiente aspirado [K].
$T_s$	Punto de ebullición del medio en la caldera a una presión determinada $p_{\text{avg}}$ [K]

$$t = t_1 + t_2 + t_v$$



**F37.** Ecuación para calcular la suma de los tiempos de apertura y cierre del actuador y el tiempo de ventilación previa

$t$	Suma de los tiempos de apertura y cierre del actuador y del tiempo de ventilación previa [s].
$t_1$	Tiempo de apertura del actuador (aproximadamente 30 ... 60 s) [s]
$t_2$	Tiempo de cierre del actuador (aproximadamente 30 ... 60 s) [s]
$t_v$	Tiempo de ventilación previa ( $\leq 120$ s) [s]

$$t = 30 \text{ [s]} + 30 \text{ [s]} + 70 \text{ [s]} = 130 \text{ [s]}$$



**B14.** Ejemplo de cálculo para determinar la suma de los tiempos de apertura y cierre del actuador y el tiempo de ventilación previa



$$\Delta T = 195 \text{ [}^\circ\text{C]} - 25 \text{ [}^\circ\text{C]} = 170 \text{ [K]}$$

**B15.** Ejemplo de cálculo para determinar la diferencia de temperatura entre el medio en la caldera y el aire ambiente aspirado

$$\dot{Q}_{bu} \approx 10,000 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] \cdot \frac{0.65}{93 \%} \approx 6,700 \text{ [kW]}$$

**B16.** Ejemplo de cálculo para determinar la potencia de combustión aproximada del sistema

$$Q_{l,\text{pre-ventilation}} = 1.26 \cdot 6,700 \text{ [kW]} \cdot 170 \text{ [K]} \cdot 130 \text{ [s]} \cdot 10^{-7} = 18.7 \text{ [kWh]}$$

**B17.** Ejemplo de cálculo para determinar las pérdidas aproximadas previas a la ventilación

Con una media de 4 arranques del quemador por hora y una carga media de la caldera del 20%, la pérdida de calor es del 6% de la potencia de la caldera.

Si se extrapola a un tiempo transcurrido de 4.000 h/a, se obtiene una pérdida total de calor de unos 300 MWh/a; en términos económicos, una pérdida de 13.500 euros al año.

$$18.7 \text{ [kWh]} \cdot 4,000 \left[ \frac{\text{h}}{\text{a}} \right] \cdot 4 \left[ \frac{1}{\text{h}} \right] = 299 \left[ \frac{\text{MWh}}{\text{a}} \right]$$

**B18.** Ejemplo de cálculo para determinar la pérdida anual aproximada de ventilación previa [MWh].

$$300 \left[ \frac{\text{MWh}}{\text{a}} \right] \cdot 45.0 \left[ \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right] = 13,500 \left[ \frac{\text{€}}{\text{a}} \right]$$

**B19.** Ejemplo de cálculo para determinar la pérdida anual aproximada por ventilación previa [€].





## 3 Aumento de la eficiencia en el circuito del agua y del condensado

### 3.1 Purga de superficie y purga de fondo

Dependiendo del tipo de tratamiento del agua, el agua de alimentación de la caldera de vapor contiene sustancias que se acumulan como resultado de la evaporación en el interior de la caldera y que siguen siendo perjudiciales o perturban el funcionamiento de la caldera.

→ Fig. 65, página 149

Por lo tanto, parte del agua de alimentación debe eliminarse a través de la válvula de purga de superficie y la válvula de purga de fondo. La tasa de purga  $\alpha$  se sitúa normalmente entre el 3 ... 5 % con referencia a la cantidad de agua de alimentación.

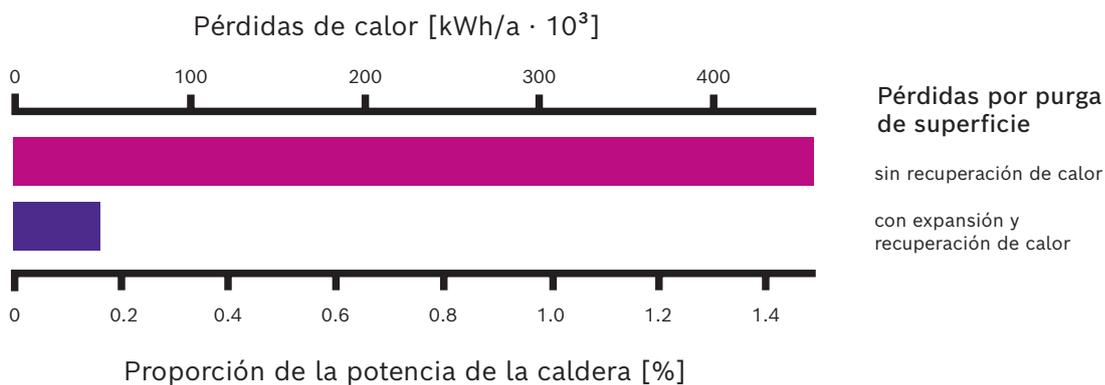
Para que la calidad del agua de la caldera sea siempre aceptable para la caldera y el sistema y para evitar cantidades de purga superficial innecesariamente elevadas, la válvula de purga superficial y la válvula de purga inferior deben diseñarse de forma que puedan controlarse.

Dado que el agua extraída de la caldera se encuentra en el punto de ebullición (por ejemplo, a una temperatura de 195 °C a 13 bar),

se pierde una cantidad considerable de energía si no se instalan sistemas de recuperación de calor.

Utilizando un módulo de expansión y recuperación de calor, se puede devolver hasta el 90 % de esta energía al sistema de calderas y ahorrar grandes cantidades de agua de refrigeración.

Con una presión media de funcionamiento de 13 bares y una tasa de purga del 5%, la pérdida de energía sin recuperación de calor se sitúa en torno al 1.4% de la potencia de la caldera. En este caso, la recuperación de calor puede ahorrar unos 400.000 kWh/a (sobre la base de una caldera de 10 t/h que funciona a plena carga durante 4.200 horas).



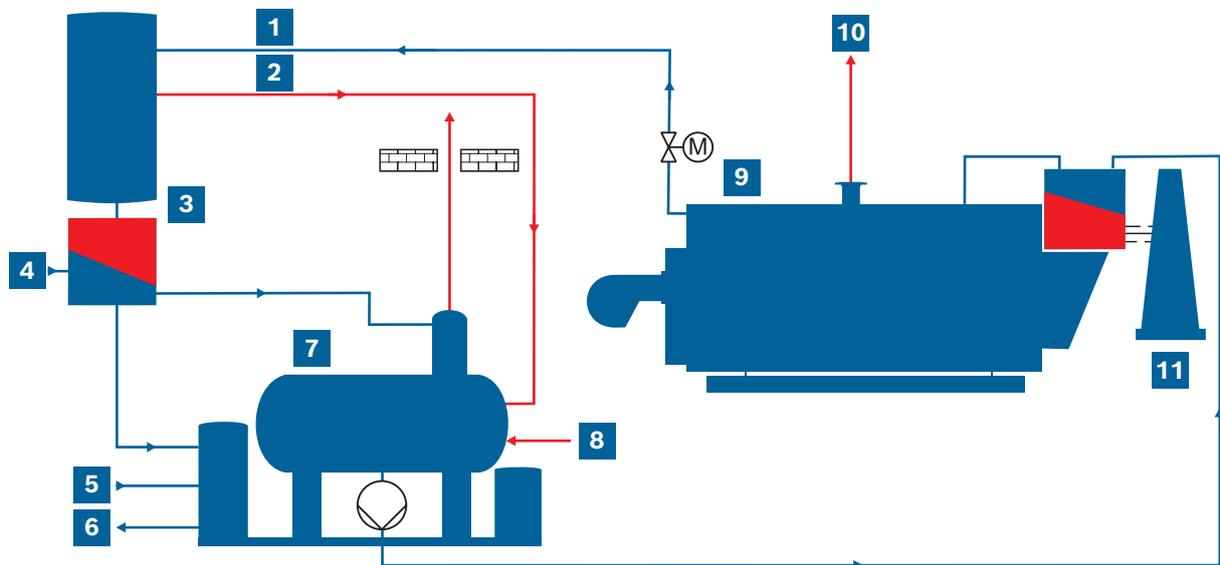
**Fig. 155** Ahorro potencial de expansión y recuperación de calor (EHM o EHB)

Tras la purga superficial, el agua residual se expande en el módulo de recuperación de calor (EHM o EHB) hasta la presión del depósito de agua de alimentación y se devuelve al EHM o EHB, lo que puede ahorrar vapor de calentamiento. Un intercambiador de calor de placas instalado aguas abajo del depósito de expansión enfría aún más la salmuera restante. El calor adquirido se utiliza para precalentar el agua de reposición, lo que también ahorra vapor de calentamiento para la desaireación.

→ Productos – Capítulo 4.6: Módulo de expansión y recuperación de calor EHM, página 348

→ Productos – Capítulo 4.7: Módulo de expansión, recuperación de calor y purga EHB, página 349

En este caso, sólo se puede utilizar el agua de purga del fondo, ya que los sólidos que contiene pueden causar problemas en el reductor de presión y en el intercambiador de calor.



**Fig. 156** Representación esquemática de la expansión y la recuperación de calor

- |  |   |
|--|---|
| <b>1</b> Salmuera de agua de caldera                 | <b>7</b> Depósito de agua de alimentación |
| <b>2</b> Vapor de expansión                          | <b>8</b> Vapor de calentamiento           |
| <b>3</b> Módulo de expansión y recuperación de calor | <b>9</b> Caldera de vapor                 |
| <b>4</b> Agua de reposición                          | <b>10</b> Vapor                           |
| <b>5</b> Agua de refrigeración                       | <b>11</b> Chimenea                        |
| <b>6</b> Al alcantarillado                           |   |



**Fig. 157** Módulo de expansión y recuperación de calor EHB

El módulo correspondiente está disponible para sistemas nuevos con depósito de purga de fondo integrado y también como solución de reequipamiento para un depósito de purga de fondo existente.

## 3.2 Vapores de escape

En principio, en los sistemas de desgasificación térmica total se acumulan vapores de escape, también denominados vapor residual. Los vapores de escape son necesarios para eliminar gases nocivos como el oxígeno (O<sub>2</sub>) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) del depósito de agua de alimentación. En muchas salas de calderas esto es evidente por los penachos de vapor que normalmente salen por el techo.

Como el depósito de agua de alimentación suele estar presurizado durante todo el año para evitar la permeación de oxígeno y los problemas de corrosión asociados a ella, se producen continuamente vapores de escape. También se producen vapores de escape en los momentos en que la caldera no está realmente en funcionamiento.

Existen dos opciones posibles para reducir las pérdidas de vapor de escape:

- **Válvula de descarga de vapores de escape controlada**

La válvula de descarga de vapores de escape controlada impide el flujo hacia el exterior de los vapores de escape durante las fases en las que no es necesaria la desaireación.

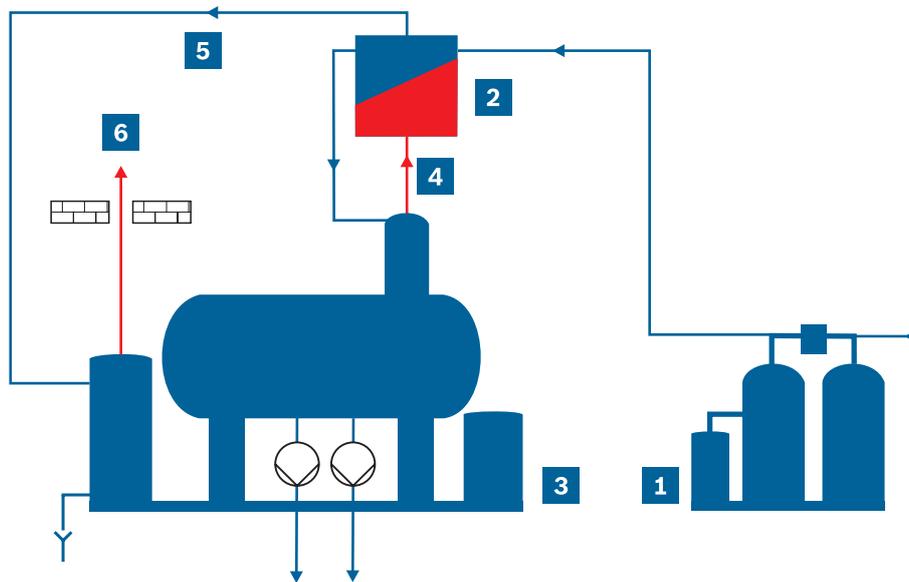
Esto puede ahorrar enormes cantidades de energía, especialmente en sistemas con un gran porcentaje de tiempo de inactividad, por ejemplo, con funcionamiento a dos turnos. La duración de la apertura de la válvula de descarga de vapores de escape puede ajustarse a la demanda real mediante el análisis continuo del agua, que también incluye la medición de la concentración de oxígeno en el depósito de agua de alimentación. Esto también reduce las pérdidas.

- **Enfriador de vapor**

El agua del vapor de escape se condensa en el enfriador de vapor. La energía térmica producida al condensar y enfriar el vapor de escape a  $\leq 35$  °C se utiliza para calentar el agua de reposición y reducir así la cantidad de vapor de calentamiento necesaria en el depósito de agua de alimentación. Como el condensado que se acumula en el enfriador de vapor es rico en oxígeno y dióxido de carbono y tiene un valor de pH muy bajo, se vierte a través del depósito de purga inferior al alcantarillado. Además de calentar el agua de reposición, también puede utilizarse para calentar el agua de proceso o como apoyo a la calefacción central.

Como el sistema de desaireación funciona de forma más o menos continua, el tiempo de amortización es casi siempre inferior a un año. Un enfriador de vapor también puede integrarse fácilmente en los sistemas existentes.

→ Productos – Capítulo 4.8: Refrigerador de vapor VC, página 350



**Fig. 158** Representación esquemática del refrigerador de vapor utilizado para la desgasificación térmica completa (representación muy simplificada)

- |  |   |
|--|---|
| <b>1</b> Módulo de tratamiento de agua WTM | <b>4</b> Vapores de escape (103 °C)                     |
| <b>2</b> Refrigerador de vapor VC          | <b>5</b> Condensado de vapores de escape (aprox. 35 °C) |
| <b>3</b> Módulo de servicio de agua WSM-V  | <b>6</b> A través del techo a la atmósfera              |



**Fig. 159** Enfriador de vapor

### 3.3 Desmineralización

Se puede instalar un sistema de desmineralización de agua dulce después del descalcificador, necesario en todas las calderas de vapor.

→ Tecnología – Capítulo 4.1.3: Desmineralización, página 181

En particular, reduce la tasa de purga superficial, lo que a su vez reduce la pérdida de calor y agua de la caldera. Reduce la conductividad del agua de la caldera, lo que también mejora la calidad del vapor. Un método utilizado habitualmente es la ósmosis inversa mediante un módulo de membrana.

→ Tecnología - Cap. 4.1.3: Desmineralización - Ósmosis inversa, página 183

### 3.4 Gestión de condensado

El condensado se forma en cualquier lugar donde se libera calor del sistema de vapor. El vapor saturado libera el calor durante la transición de la fase gaseosa a la líquida, es decir, al condensarse.

→ Tecnología – Capítulo 4.4: Gestión de condensados, página 199

El condensado producido se encuentra en el punto de ebullición (por ejemplo, con el drenaje de tuberías de vapor) o está sobreenfriado (por ejemplo, con intercambiadores de calor).

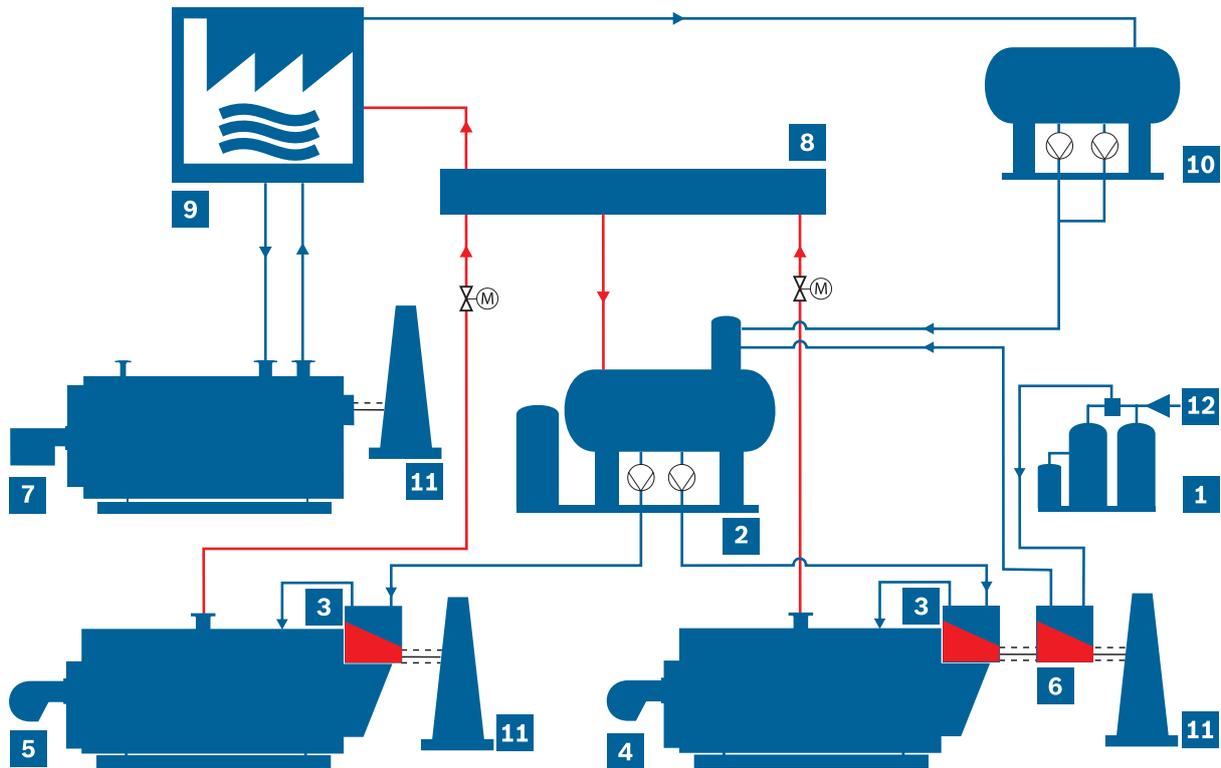
Aunque cuando se utilizan intercambiadores de calor el sobreenfriamiento depende del tipo de control del intercambiador de calor que se utilice, suele estar en el rango de 10 ... 30 K.

En casi todos los casos tiene sentido, también económicamente, recoger el condensado producido por los consumidores de calor y devolverlo al circuito de la caldera de vapor o utilizarlo para otro fin.

Los costes se reducen debido a la entalpía que sigue presente en el condensado y a que se necesita menos agua dulce, lo que también implica menos pérdidas por purga de superficie y purga de fondo.

Las cantidades máximas de condensado de los consumidores de vapor deben tenerse en cuenta a la hora de dimensionar el depósito de condensado y las bombas de condensado correspondientes. También debe tenerse en cuenta el retardo que existe cuando el condensado fluye al sumidero de condensado. El depósito de condensados debe dimensionarse siempre de forma que pueda contener provisionalmente al menos la cantidad de condensado que se acumula en aproximadamente media hora entre el nivel de agua más bajo y el más alto. El caudal de las bombas de condensado debe ser al menos 3 veces superior a la acumulación horaria de condensado durante el funcionamiento normal. También debe prestarse especial atención a la puesta en marcha de los consumidores de calor, ya que es el momento en que la tasa de acumulación de condensado es más elevada debido a la operación de calentamiento.

Dependiendo del nivel de presión y temperatura, la entalpía del condensado sigue siendo considerable a las temperaturas normales de 80 ... 140 °C en comparación con el agua de reposición que normalmente está fría con una temperatura de unos 15 °C. Se necesita menos agua dulce y, por tanto, menos energía para el calentamiento, ya que el condensado se devuelve al depósito de agua de alimentación. Además, el condensado no tiene que ser tratado químicamente y puede alimentarse directamente al depósito de agua de alimentación.



**Fig. 160** Representación esquemática de un sistema de condensado abierto

- |   |   |
|---|---|
| <b>1</b> Módulo de tratamiento de agua    | <b>7</b> Caldera de calefacción                 |
| <b>2</b> Módulo de servicio de agua WSM-V | <b>8</b> Distribuidor de vapor                  |
| <b>3</b> Economizador ECO                 | <b>9</b> Consumidor                             |
| <b>4</b> Caldera de vapor UL-S            | <b>10</b> Módulo de servicio de condensados CSM |
| <b>5</b> Caldera de vapor U-HD            | <b>11</b> Chimenea                              |
| <b>6</b> Intercambiador de condensación   | <b>12</b> Agua dulce                            |

### 3.4.1 Vapor de expansión

Si el condensado se recoge en un depósito sin presión, se habla de un sistema de condensado abierto. En este caso, el nivel de temperatura del condensado es siempre  $< 100\text{ °C}$  y el condensado puede absorber oxígeno. En caso de una demanda de agua correspondiente que depende del nivel, una bomba de condensado bombea el condensado de vuelta al sistema de desaireación del agua de alimentación.

Como normalmente el condensado se recoge de varios consumidores de vapor que funcionan a diferentes niveles de temperatura y presión, la temperatura del condensado que llega al depósito de condensado también puede ser  $> 100\text{ °C}$ . A continuación, se produce vapor de expansión que posteriormente se libera a la atmósfera a través del conducto de vapores de escape, por lo que representa una pérdida de calor. Estos vapores de escape pueden recuperarse mediante un módulo, similar al módulo de vapores de escape, que se instala en el depósito de agua de alimentación y luego se pone a disposición de un consumidor de baja temperatura, por ejemplo, un sistema de calefacción o de agua caliente.

### 3.4.2 Depósito de condensado de alta presión

Si varios consumidores de vapor equipados con superficies calefactoras están diseñados para una presión de vapor que permanece más o menos igual en el rango de alta presión ( $> 1.5\text{ barg}$ ), el condensado de todos los consumidores de calor puede introducirse en un sistema de condensado de alta presión compartido.

→ Tecnología – Capítulo 4.4: Gestión de condensados, página 199

Por lo tanto, no se producen pérdidas de vapor de expansión, ya que se utiliza un sistema cerrado. Como en este caso no entra oxígeno en el condensado durante el modo normal, el condensado se realimenta directamente a la caldera o al economizador. Esto significa que las cantidades de agua dulce y la dosificación de productos químicos son bajas. Con este tipo de sistema se pueden conseguir ahorros extraordinarios en comparación con los sistemas de condensado abiertos con la misma estructura de consumo.

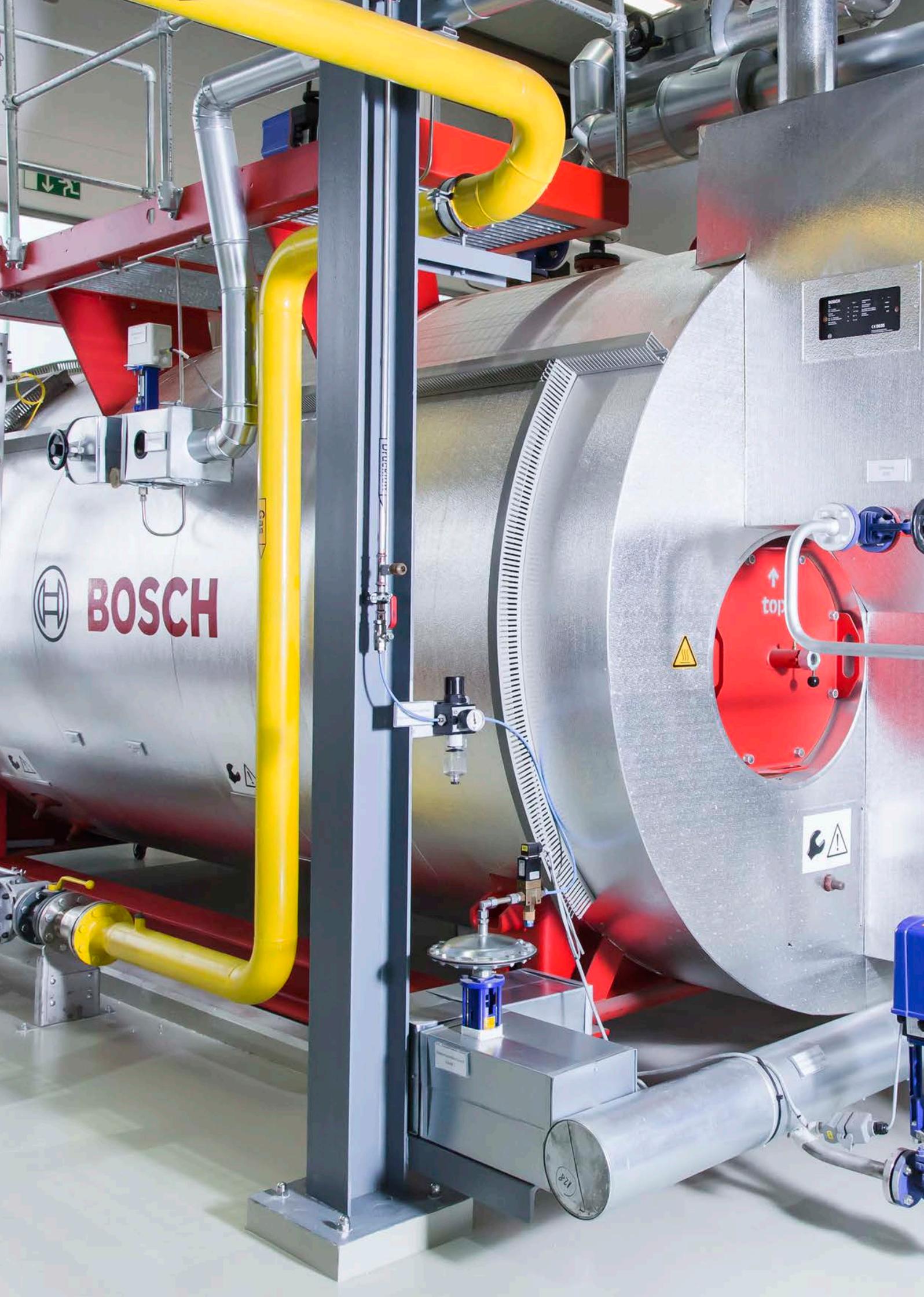
Con un sistema cerrado de condensado de alta presión se puede ahorrar hasta un 12% de combustible. Sólo es necesario reponer muy poca agua dulce y la demanda de energía térmica para calentar y desairear es menor. Además, las tasas de purga de superficie y de purga de fondo también son menores debido al muy bajo contenido en sal del condensado de alta presión. Otra ventaja de los sistemas cerrados de condensado de alta presión es la reducción del índice de corrosión en la red de condensado.

Los sistemas de condensado de alta presión deben utilizarse siempre que se produzcan grandes pérdidas de vapor de expansión como consecuencia de la introducción de condensado a alta temperatura en el sumidero de condensado o en el depósito de agua de alimentación. Los ámbitos de aplicación típicos son las fábricas de cerveza y de papel/cartón, por citar sólo algunos.

Sin embargo, también hay que tener en cuenta que, debido a las altas temperaturas del condensado, el rendimiento de recuperación de calor del economizador puede deteriorarse.



**Fig. 161** Depósito de condensado de alta presión, incluido el equipo y el control



 **BOSCH**

**BOSCH**  
CE 1000

↑  
top



128



## 4 Aumento de la eficiencia de la caldera y del sistema

### 4.1 Aislamiento

Las pérdidas por conductividad y radiación se producen debido a la diferencia de temperatura entre el medio en calderas de vapor, líneas y válvulas y el entorno. La magnitud de las pérdidas de calor depende esencialmente de la superficie, el medio, la temperatura ambiente y el diseño del aislamiento.

Como estas pérdidas no dependen de la potencia, se producen continuamente, también en las fases de inactividad, por lo que también están presentes los 365 días del año en sistemas o partes de sistemas que no se han puesto fuera de servicio. Afectan negativamente al grado de utilización anual del sistema de calderas, especialmente si el sistema funciona frecuentemente en carga parcial.

→ Eficiencia – Capítulo 1.7: Grado de utilización anual, página 253

Además de una investigación con una cámara termográfica, los "puntos calientes", o zonas en las que se producen las mayores pérdidas de calor, pueden detectarse y eliminarse palpando las zonas calientes, inspeccionando visualmente el aislamiento o utilizando un termómetro de superficie o de radiación.

Sin embargo, la temperatura de la superficie sólo refleja hasta cierto punto el grado de pérdida de calor. Especialmente cuando se comparan diferentes materiales superficiales, una temperatura superficial baja es a veces un indicio de mayores pérdidas de calor.

La razón radica en el coeficiente de radiación de la superficie aislante. Si el coeficiente es mayor, las pérdidas de calor aumentan, pero al mismo tiempo disminuye la temperatura de la superficie. Por lo tanto, es ventajoso utilizar un material con un coeficiente de emisión  $\epsilon$  bajo.

#### Ejemplo:

Depósito de agua de alimentación      L = 3,600 mm,  $\varnothing$  = 1,700 mm  
 Aislamiento      T = 100 mm  
 Temperatura del medio      103 °C

Material de superficie <sup>1)</sup>	Coficiente de emisión $\epsilon$	Pérdidas de calor por el revestimiento del contenedor	Temperatura de la superficie
Aluminio laminado liso	0.05	627.5 W	30.0 °C
Aluminio oxidado	0.13	635.5 W	29.0 °C
Chapa galvanizada desnuda	0.26	645.5 W	27.6 °C
Chapa galvanizada, polvorienta	0.44	655.5 W	26.3 °C
Acero inoxidable austenítico	0.15	637.2 W	28.7 °C
Chapa de aluminio-cinc ligeramente oxidada	0.18	639.7 W	28.4 °C
Superficie no metálica	0.94	671.2 W	24.2 °C

**Tab. 28** Lista de coeficientes de emisión, pérdidas de calor y temperaturas superficiales de diferentes superficies

1) Según VDI 2055 Hoja 1 Apéndice A8

Las mayores pérdidas de calor en los sistemas existentes se producen normalmente como consecuencia de válvulas sin aislar, zonas que no se han vuelto a aislar tras una inspección o reparación o puentes térmicos que se forman al desplazar la capa protectora de aislamiento.

La mayoría de las pérdidas de calor por conducción y radiación en los sistemas existentes pueden evitarse eliminando estos "puntos calientes" sin tener que volver a aislar completamente el sistema. El aislamiento de las zonas no aisladas de todo el sistema (por ejemplo, caldera, tuberías de vapor y condensado, válvulas, depósitos) es una de las medidas de ahorro más eficaces en los sistemas existentes.

La pérdida de calor en la propia caldera también puede determinarse fácilmente en estado de reposo. La caída de presión puede determinarse una vez que la caldera se ha apagado (por ejemplo, el fin de semana) con las válvulas de vapor, purga de superficie y purga de fondo cerradas. Partiendo de una presión de vapor en la caldera de 10 bar, la caída de presión no debe ser superior a 0.2 bar/h. Hay que tener en cuenta que no sólo hay que considerar las pérdidas por radiación y conducción, sino también las pérdidas por ventilación debidas a la resistencia de la chimenea (si procede). El resultado también puede verse influido por válvulas que no cierran herméticamente.

Sin embargo, la pérdida de calor medida indirectamente a través de la caída de presión está presente independientemente de la causa, y debe evitarse.

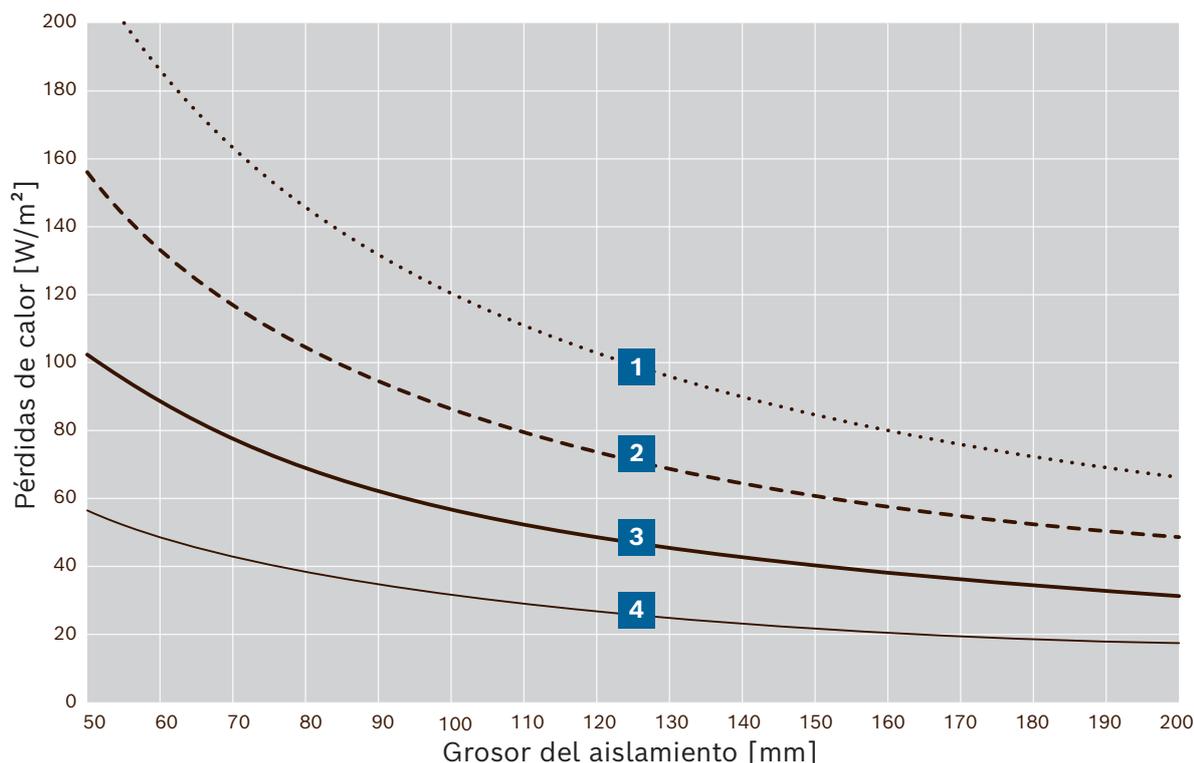
La eficacia del aislamiento puede mejorarse teniendo en cuenta los siguientes puntos.



### 4.1.1 Espesor y superficie del aislamiento

La temperatura superficial y las pérdidas de calor pueden reducirse aumentando el grosor del aislamiento. En este caso, sin embargo, el objetivo es elegir una medida de optimización que sea sensata y económica, ya que las pérdidas superficiales no pueden reducirse en absoluto a la mitad simplemente duplicando el grosor del aislamiento.

Además del grosor del aislamiento, el tamaño de la superficie también desempeña un papel decisivo. Los tipos de caldera compactos, por ejemplo con diseño asimétrico, así como un economizador integrado y la consiguiente menor superficie de aislamiento son ventajosos a este respecto.



**Fig. 162** Pérdidas de calor a través de la zona aislada del recipiente o de la superficie de la caldera

- |  |  |
|--|--|
| <b>1</b> Temperatura media: 250 °C (·····) | <b>3</b> Temperatura media: 150 °C (—) |
| <b>2</b> Temperatura media: 200 °C (- - -) | <b>4</b> Temperatura media: 100 °C (—) |

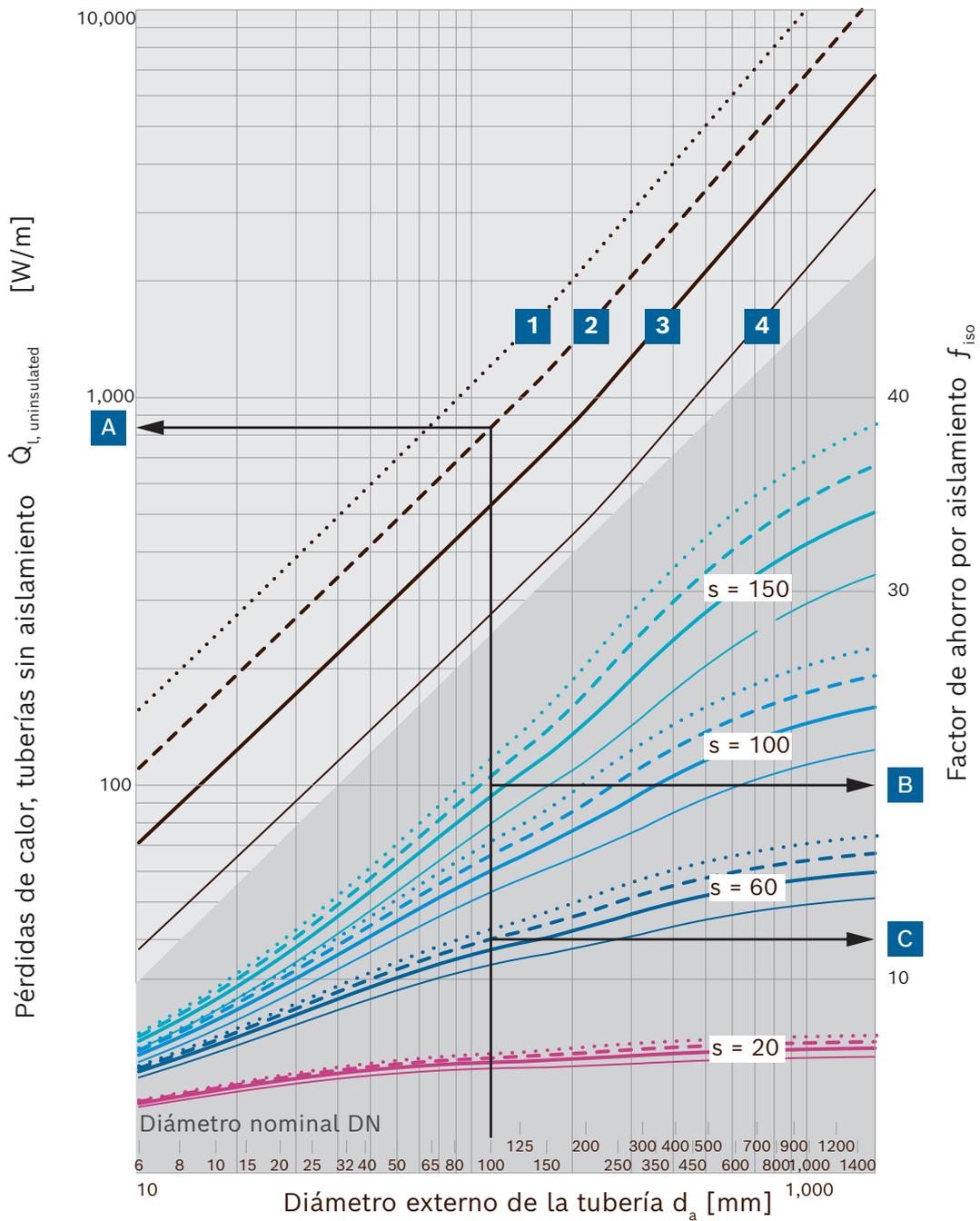
La figura (Fig. 162) muestra que con un grosor de aislamiento de 100 mm y una temperatura media de 150 °C la pérdida de calor es de aproximadamente 57 W/m². Este valor disminuye en un 30 % hasta unos 40 W/m² cuando el grosor del aislamiento aumenta hasta 150 mm. La pérdida de calor puede reducirse en un 44 % hasta 32 W/m² aumentando el grosor del aislamiento de 100 mm a 200 mm.

Esto se aplica únicamente a las zonas aisladas sin puentes térmicos en cada caso. Dado que las pérdidas a través de estos puentes pueden superar rápidamente las pérdidas en la zona cilíndrica bien aislada, deben tenerse siempre en cuenta y, siempre que sea posible, minimizarse.

### 4.1.2 Aislamiento de tuberías

Para ahorrar energía y cumplir los requisitos de salud y seguridad en el trabajo, actualmente es obligatorio aislar de forma continua las tuberías que transportan medios calientes en todas las partes del sistema. Sin embargo, no sólo la normativa, sino también, y sobre todo, los aspectos económicos son decisivos a la hora de decidir qué grosor de aislamiento utilizar.

Tanto la pérdida de calor absoluta por metro lineal de tubería sin aislar (ordenada izquierda) como el factor de ahorro de una sección de tubería aislada (ordenada derecha) pueden determinarse con referencia a la temperatura del medio, el diámetro de la tubería y el grosor del aislamiento a partir del siguiente diagrama.



**Fig. 163** Factor de ahorro debido al aislamiento y las pérdidas de calor en las tuberías

- |  |                                   |
|--|-----------------------------------|
| <b>1</b> Temperatura media: 250 °C (·····)   | Grosor del aislamiento s = 150 mm |
| <b>2</b> Temperatura media: 200 °C (- - - -) | Grosor del aislamiento s = 100 mm |
| <b>3</b> Temperatura media: 150 °C (—)       | Grosor del aislamiento s = 60 mm  |
| <b>4</b> Temperatura media: 100 °C (—)       | Grosor del aislamiento s = 20 mm  |



Los cálculos del diagrama Fig. 163 se basan en la norma VDI 2055 hoja 1: tubería de acero pintado sin aislar, aislamiento de lana mineral, cubierta aislante de chapa de aluminio, tubería horizontal, temperatura ambiente 20 °C.

**Ejemplo** (derivado del diagrama Fig. 163):

Diámetro de la línea de vapor DN 100

Temperatura del vapor 200 °C

**A Pérdida de calor sin aislamiento** (ordenada izquierda)

$$\dot{Q}_{i, \text{uninsulated}} = 837 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}} \right]$$

**B Ahorro gracias al aislamiento** (ordenada derecha)

(grosor del aislamiento  $s = 60 \text{ mm}$ ;  $f_{\text{iso}} = 12.6$ )

$$\dot{Q}_{i, \text{insulated}} = \frac{837 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}} \right]}{12.6} = 66.4 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}} \right]$$

**C Ahorro gracias al aislamiento** (ordenada derecha)

(grosor del aislamiento  $s = 150 \text{ mm}$ ;  $f_{\text{iso}} = 20.5$ )

$$\dot{Q}_{i, \text{insulated}} = \frac{837 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}} \right]}{20.5} = 40.8 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}} \right]$$

Aumentar el grosor del aislamiento de una tubería de 100 m de 60 mm a 150 mm ahorra unos 920 euros anuales (sobre la base de 8,000 horas de funcionamiento y unos costes energéticos de 4.5 ct/kWh).

En este caso, cada metro de tubería sin aislar cuesta más de 300 euros al año.

Ejemplo	Grosor del aislamiento [mm]	Pérdidas de calor en tuberías [W/m]	Pérdida total de calor <sup>1)</sup> [kWh]	Ahorro absoluto <sup>2)</sup> [kWh]	Porcentaje de ahorro <sup>2)</sup> [%]	Costes ahorrados <sup>2)</sup> [€]
<b>A</b>	sin aislamiento	837.0	669,600	---	---	
<b>B</b>	s = 60	66.4	53,120	---	---	
<b>C</b>	s = 150	40.8	32,640	20,480	38.6	921.60

**Tab. 29** Ejemplo de ahorro potencial como resultado de aumentar el espesor del aislamiento, basado en una tubería de vapor

<sup>1)</sup> Basado en 100 m de longitud de tubería y 8,000 horas de funcionamiento/año

<sup>2)</sup> Con referencia al espesor del aislamiento  $s = 60 \text{ mm}$

### Minimizar los puentes térmicos

Los puentes térmicos se producen invariablemente cuando las conexiones metálicas con una conductividad térmica muy alta rompen el aislamiento. Este es el caso, por ejemplo, de los conectores, los soportes de calderas o los soportes de plataformas.

En la zona de la cubierta aislante protectora debe garantizarse especialmente que las penetraciones necesarias por motivos funcionales no entren en contacto directo con la cubierta aislante, ya que de lo contrario se crearían puentes térmicos en estos puntos a través de los cuales se perdería energía. Una forma fiable de evitarlo es simplemente envolviendo los conectores en tejido aislante. Los elementos cuya finalidad sea mejorar la estabilidad y rigidez estructural, deben estar dentro del aislamiento para que no puedan conducir el calor hacia el exterior, a la cubierta aislante protectora.

Del mismo modo, no deben utilizarse espaciadores con carcasas cilíndricas, ya que también actúan como puentes térmicos. De este modo se evita la conducción de calor desde el tambor caliente de la caldera a la camisa de aislamiento de protección y el rendimiento de aislamiento térmico de la estera aislante es completamente eficaz.



**Fig. 164** Evitar puentes térmicos aislando calderas cilíndricas y envases sin separadores



### 4.1.3 Aperturas de inspección aisladas

Las calderas de vapor están sujetas a inspecciones internas periódicas por parte de los organismos de control pertinentes. Se requieren aberturas en la cubierta aislante para los orificios de inspección, como los orificios de mano o los orificios de cabeza, o las bocas de inspección. Estas aberturas están aisladas y selladas con tapas aislantes desmontables.

Las aberturas de limpieza e inspección de las cámaras de recogida de gases de combustión y las carcasas de los economizadores se sellan utilizando la misma tecnología de aislamiento para que no se pierda el exceso de calor radiante a través de las aberturas de inspección. Los orificios de inspección se señalan con etiquetas.

Especialmente después de las inspecciones o si se han retirado las cubiertas aislantes por cualquier otro motivo, debe garantizarse que el aislamiento se vuelva a instalar en las aberturas de inspección.

Si no se vuelve a sellar una abertura de inspección con una superficie aproximada de 0.5 m<sup>2</sup>, esto significa que a una presión de funcionamiento de 10 bares y una temperatura de 185 °C la pérdida de energía por día es de aproximadamente 15 kWh.



**Fig. 165** Aislamiento desmontable en las aberturas de inspección (UL-S con economizador integrado)

#### 4.1.4 Válvulas aisladas

Las válvulas se encuentran en muchos puntos de los sistemas de calderas de vapor y son necesarias para el funcionamiento y el mantenimiento. Por motivos de instalación o de coste, o debido a diversos límites de suministro, en los sistemas nuevos se sigue omitiendo con frecuencia el aislamiento de las válvulas o de las bridas adaptadoras. Del mismo modo, también es frecuente encontrar válvulas sin aislar en los sistemas existentes.

Sin embargo, a través de estas zonas sin aislar se pierde una gran cantidad de energía. La siguiente tabla puede utilizarse para calcular la energía que se pierde a través de una válvula sin aislar.

<b>Diámetro nominal del tubo</b>		<b>DN 50</b>	<b>DN 65</b>	<b>DN 80</b>	<b>DN 100</b>	<b>DN 125</b>	<b>DN 150</b>	<b>DN 200</b>	<b>DN 250</b>
<b>Longitud según EN 558 serie 1</b>	[mm]	230	290	310	350	400	480	600	730
<b>Pérdida de calor, sin aislamiento</b>	[W]	224	343	419	586	795	1,119	1,800	2,728
<b>Pérdida de calor, aislado</b>	[W]	21	27	29	33	43	58	88	127
<b>Ahorro</b>	[W]	202	316	390	553	752	1,061	1,712	2,601
<b>Pérdida de calor con 8.000 Bh/a</b>	[kWh/a]	1,619	2,527	3,117	4,425	6,018	8,489	13,693	20,810
<b>Ahorro con 4.5 Ct/kWh</b>	[€/a]	73	114	140	199	270	382	616	936

**Tab. 30** Pérdidas de calor y costes de operación de válvulas no aisladas (temperatura media 200 °C)

#### Información sobre la mesa:

- Temperatura del medio 200 °C
- Cálculo de las pérdidas de calor en las tuberías según VDI 2055 hoja 1
- Conversión de las pérdidas de calor en las tuberías en pérdidas de calor en las válvulas con un factor lineal de 1.6 para las válvulas aisladas y un factor lineal de 2 para las válvulas no aisladas. (Esto da como resultado unas pérdidas de calor mucho más conservadoras para las válvulas no aisladas y un ahorro menor que cuando se utiliza el método de cálculo según VDI 2055 hoja 1).
- Longitud de la válvula según EN 558 serie 1

Con una temperatura media de 200 °C y un diámetro nominal de válvula de DN 100, se consigue una reducción de la pérdida de calor de aproximadamente 550 W aislando las válvulas. Con un diámetro nominal de DN 150, la pérdida es de aproximadamente 1,060 W. El coste de 100 ... 200 por aislar una válvula se amortiza en un año.

Como todo un sistema de vapor requiere válvulas en muchos puntos, el potencial total basado en el aislamiento de las válvulas del sistema de vapor y condensado es, por término medio, de aproximadamente el 1 ... 5 % del consumo de combustible.



## 4.2 Control

Optimizar y ajustar el control de los sistemas de calderas al funcionamiento real también representa un enorme potencial de ahorro. Esta optimización siempre tiene sentido, ya que las condiciones de diseño de los sistemas de calderas son diferentes de las condiciones reales de funcionamiento. Esto puede ser necesario, por ejemplo, si posteriormente se instalan consumidores adicionales en sistemas nuevos o si cambia el funcionamiento actual como consecuencia de la conversión y ampliación de la producción con los sistemas existentes.

### 4.2.1 Reducción de la presión de funcionamiento

En las fases de concepción y diseño de un sistema de calderas de vapor se define una presión de funcionamiento media basada en el nivel de temperatura requerido y las pérdidas de presión en los consumidores. Sin embargo, este diseño se basa a menudo en una estimación muy conservadora, cuando en realidad una presión de funcionamiento ligeramente inferior sería suficiente durante el funcionamiento en la práctica.

Por lo tanto, a efectos de optimización energética durante el funcionamiento, tiene sentido determinar la presión de funcionamiento media necesaria y fijarla en el control de la caldera. Debido a la reducción de la presión de funcionamiento, la temperatura de la caldera y de las tuberías de vapor disminuye, lo que reduce las pérdidas por radiación y conducción.

Cada vez que se modifica la presión de funcionamiento, deben tenerse en cuenta las condiciones del sistema.



→ Planificación – Capítulo 2.1: Presión media de funcionamiento, página 27

Una reducción de la presión media de funcionamiento de 8 bares ( $\pm 175$  °C de temperatura del vapor saturado) a 6 bares ( $\pm 165$  °C de temperatura del vapor saturado) reduce inmediatamente las pérdidas de calor por conducción y radiación en un 7 %, lo que significa que se puede conseguir un ahorro de combustible de alrededor del 0.2 %.

Además de las pérdidas de calor, la temperatura de los gases de combustión también desciende ligeramente, lo que aumenta el grado de utilización anual. Además, la presión de funcionamiento máxima no siempre es necesaria fuera de las horas de funcionamiento principales de un sistema de caldera de vapor (por ejemplo, el fin de semana). A menudo es conveniente ajustar una presión de funcionamiento más baja en esos momentos.

### 4.2.2 Control de secuencia de la caldera

Si en una planta hay instaladas varias calderas de vapor, el funcionamiento de cada una de ellas puede optimizarse utilizando un control de secuencia de calderas.

La tarea de un control de secuencia de calderas es ajustar el número de calderas realmente activadas a la demanda de potencia actual. Este ajuste puede lograrse encendiendo o apagando las calderas rezagadas según los criterios del control de secuencia. De este modo se garantiza un funcionamiento del sistema de calderas que ahorra energía. El ajuste de la secuencia de calderas a la demanda real de potencia reduce las pérdidas de ventilación previa, pasa automáticamente las calderas al modo de mantenimiento del calor y consigue un funcionamiento de las calderas con una eficiencia optimizada. Este ajuste y la reducción asociada de las pérdidas de calor mejoran el grado de utilización anual.

## 4.3 Control automático

La monitorización y visualización de parámetros de funcionamiento importantes de un sistema de calderas de vapor permite detectar fallos con mayor rapidez e identificar más fácilmente el potencial de optimización.

Por ejemplo, se pueden supervisar y evaluar los siguientes valores:

- Temperatura de los gases de combustión
- Presión media de funcionamiento
- Nivel, arranques de la bomba, tiempo de funcionamiento de la bomba
- Carga del quemador, arranques del quemador y ventilación previa, valor de O<sub>2</sub> en los gases de combustión
- Conductividad y tasa de purga
- Valores del agua

### 4.3.1 Análisis continuo del agua

Mediante el análisis continuo del agua se pueden conseguir los siguientes ahorros en el ámbito del tratamiento del agua.

- Energía (minimización de las pérdidas de vapor de escape)
- Uso de productos químicos (dosificación en función de las necesidades)

→ Tecnología – Capítulo 4.5.5: Análisis continuo del agua, página 204

### 4.3.2 Control de las condiciones

El grado óptimo de utilización anual del sistema de calderas de vapor durante el funcionamiento continuo debe perseguirse mediante una supervisión y un mantenimiento adecuados del estado. Para ello, es importante observar y comparar los distintos parámetros de un sistema de calderas durante un periodo prolongado, a fin de poder responder adecuadamente a cualquier deterioro de las condiciones de funcionamiento o a cambios en el modo de funcionamiento de la caldera por razones operativas.

En muchas empresas, la supervisión y el análisis de la energía generada y consumida es un requisito que forma parte de su estrategia global de gestión energética, ya que el potencial de ahorro de combustible o electricidad no es insignificante y a menudo puede conseguirse sin costes de inversión adicionales simplemente adaptando los datos de funcionamiento a la situación real.

→ Tecnología – Capítulo 3.10: Control de la caldera, página 167

Esta tarea puede llevarse a cabo parcialmente mediante el Condition Monitoring automatizado. Se registran y evalúan los siguientes datos de funcionamiento:

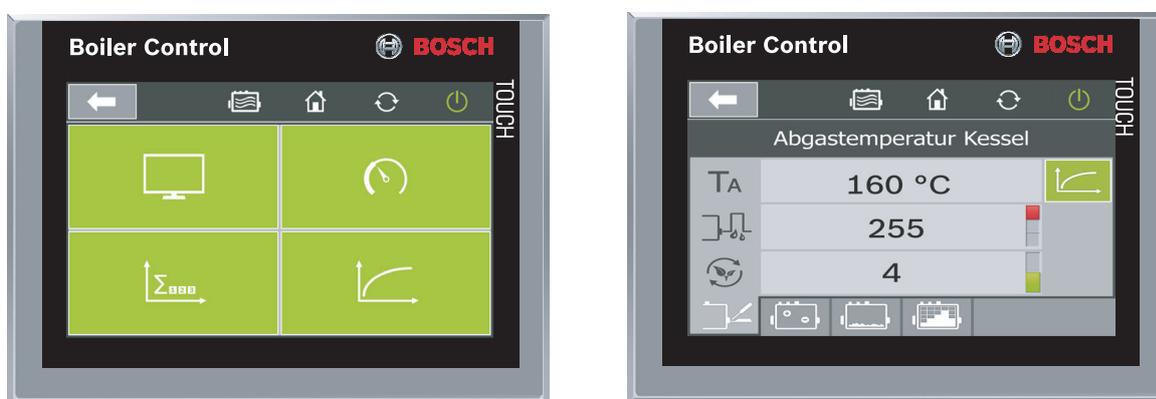
- Visualización de las horas de funcionamiento, la frecuencia de arranque y el número de arranques en frío a lo largo del tiempo
- Detección de condiciones de arranque desfavorables
- Detección de suciedad en el lado del agua y de los gases de combustión o de condensación no deseada
- Generación de informes de servicio según los requisitos
- Visualización de las pérdidas de energía como resultado de la purga de fondo y la purga de superficie



- Visualización del consumo de combustible y agua a lo largo del tiempo
- Visualización de la tasa de eliminación de vapor a lo largo del tiempo
- Visualización del perfil de carga de la caldera a lo largo del tiempo

El software analiza y evalúa los datos del sistema y, a continuación, muestra los resultados al personal de servicio según un sistema de semáforo: verde significa que todo va bien. El naranja y el rojo indican que la caldera funciona cada vez menos como debería o no funciona de forma económica. De este modo, se detectan a tiempo y se evitan los modos de funcionamiento que provocan ineficacia, mayor desgaste o paradas imprevistas.

La gran transparencia de los datos también facilita la optimización energética del funcionamiento de la caldera. Cualquier posibilidad de mejora se identifica mediante la adquisición y visualización de datos significativos del sistema, como el perfil de carga de la caldera, el número de operaciones de cambio de combustión o las pérdidas de calor resultantes de la purga de superficie y la purga de fondo.



**Fig. 166** Control del estado de la caldera BCO

### 4.3.3 MEC Optimize

MEC Optimize, el asistente digital de eficiencia, es una evolución de Condition Monitoring. Está integrado en el control de la caldera y registra todos los datos de la caldera de vapor, el tratamiento del agua, el equipo de recuperación de calor y otros componentes del sistema conectados.

Los datos de funcionamiento se almacenan localmente a lo largo de los años y se evalúan mediante análisis de tendencias. Si el consumo de combustible aumenta debido, por ejemplo, a una tasa de purga excesiva o a suciedad en la caldera, el asistente de eficiencia lo detecta y proporciona información sobre las posibles causas. En determinados casos, también se pueden enviar mensajes directamente al teléfono móvil del operador a través del sistema de telemantenimiento MEC Remote.

→ Productos – Capítulo : Resumen de productos, página 375

## 4.4 Servicio



**Fig. 167** Servicio Industrial

La obligación del operador de llevar a cabo el mantenimiento y las reparaciones periódicas del sistema de calderas de vapor se deriva de la normativa legal para el funcionamiento de un sistema de calderas de vapor y de las especificaciones del fabricante.

Desgraciadamente, la inspección del sistema con fines de supervisión, que se programa cada día o cada 72 horas, a menudo se considera simplemente una tarea. El mantenimiento y la revisión no deben descuidarse únicamente por razones de seguridad, sino que van mucho más allá y deben considerarse una importante tarea de optimización del sistema.

Muchas mejoras operativas sólo pueden lograrse mediante una cuidadosa observación durante el funcionamiento real. Incluso pequeños cambios en la secuencia de operaciones, la utilización semanal del sistema y el nivel necesario de presión o temperatura pueden hacer que el sistema deje de funcionar en condiciones ideales. Muchos de los ajustes que deben realizarse para optimizar el sistema pueden llevarse a cabo con un gasto de inversión muy reducido.

Se recomienda realizar periódicamente una inspección energética de los sistemas existentes. Incluso las medidas más sencillas, como la modificación de los parámetros de control, pueden ser enormemente eficaces.

Se recomienda realizar el mantenimiento y el reajuste del sistema cada tres meses o, como muy tarde, cada seis meses. El operador se beneficia de las siguientes características mejoradas de su sistema:

- Alta eficiencia energética constante
- Larga vida útil
- Alto grado de seguridad contra fallos



#### 4.4.1 Mantenimiento

Los sistemas de calderas de vapor deben ser analizados y comprobados en un plazo de 24 h o 72 h por el personal de explotación. Además del mantenimiento regular por parte del operario de la caldera, una caldera de vapor debe someterse anualmente a una inspección general y a otra de menor envergadura.

En el marco de un contrato de servicio de mantenimiento, nuestros técnicos de atención al cliente llevan a cabo la inspección y el mantenimiento de la caldera, la combustión, el control y el sistema de tratamiento de agua hasta la sala de calderas completa 2 ó 4 veces al año. Esto aumenta la seguridad de funcionamiento y la disponibilidad de la instalación, se optimiza el consumo de combustible y se evitan paradas de producción. En caso necesario, el Servicio Industrial de Bosch también puede llevar a cabo todos los trabajos de supervisión necesarios durante las inspecciones prescritas de 72 horas. Esto se puede llevar a cabo individualmente dependiendo de los requisitos de cada caso, ya sea de forma puntual o continua como parte de un contrato de servicio de mantenimiento.

#### 4.4.2 Modernización



**Fig. 168** Modernización de un sistema existente para adaptarlo a las normas más recientes

Siempre que se mantengan correctamente, las calderas de vapor pueden funcionar de forma fiable durante  $\geq 30$  años. Debido a los siguientes avances, más o menos todos los sistemas de calderas de vapor que tienen 15 años o más requieren modernización:

- Componentes de sistemas y calderas (por ejemplo, control de frecuencia, control de  $O_2$  y  $CO$ , refrigeración del agua de alimentación, tecnología de condensación)
- Tecnología de control (por ejemplo, sensores, controladores lógicos programables, lógica de control y supervisión, sistema de automatización y tecnología de telecontrol)

Es necesaria una modernización adicional debido al aumento de las necesidades en los siguientes ámbitos:

- Protección del medio ambiente
- Eficiencia del sistema
- Normativa y legislación (por ejemplo, emisiones de los sistemas de combustión, obligación de llevar a cabo una gestión energética o auditorías)

Además, las empresas explotadoras y sus consumidores de vapor también han evolucionado considerablemente con el paso del tiempo, hasta el punto de que los sistemas de calderas funcionan ahora normalmente de una manera muy distinta a las intenciones originales de diseño. Una investigación llevada a cabo por la Asociación Federal de la Industria Alemana de la Calefacción (BDH)<sup>VI)</sup> ha revelado que existe un retraso considerable en la modernización de las plantas de generación de calor y vapor. Más del 80% de los sistemas existentes en Alemania funcionan de forma ineficiente. La eficiencia energética puede incrementarse en un 20 ... 30 % si se toman las medidas adecuadas.

El reequipamiento de las instalaciones existentes también puede realizarse de forma sencilla y eficaz con nuestros componentes modulares. En muchos casos, las medidas de modernización se amortizan en 1 ... 2 años. Por regla general, todas las medidas de mejora de la eficiencia descritas también pueden reequiparse.

En la tabla siguiente se indica qué medidas son especialmente adecuadas para la modernización, ya que pueden integrarse fácilmente con un trastorno mínimo de las operaciones. La tabla también proporciona información sobre el ahorro que se puede conseguir con las medidas respectivas. Con una planificación adecuada, la combinación de medidas individuales puede dar lugar a efectos sinérgicos adicionales.

- **Muy fácil:** poco gasto de planificación, sin cambios en el sistema de control existente y normalmente se puede implantar durante el funcionamiento sin interrupciones o con interrupciones muy breves
- **Fácil:** requiere más planificación, puede instalarse posteriormente en el armario de control e implica breves interrupciones del funcionamiento.
- **Complejo:** trabajos de conversión más extensos que implican interrupciones del funcionamiento.

---

VI) Asociación Federal de la Industria Alemana de la Calefacción



<b>Especialmente adecuado para el reequipamiento</b>	<b>Ahorro potencial</b>	<b>Gastos de ejecución</b>
Sustitución de aislamientos defectuosos o ausentes (por ejemplo, válvulas, aberturas de inspección)	3 ... 8 % combustible	Muy fácil
Enfriador de vapor	≤ 0.5 % combustible	Fácil
Refrigeración del agua de alimentación	≤ 1.8 % combustible	Fácil
Módulo de expansión y recuperación de calor	≤ 1.0 % combustible Ahorro de agua dulce, reducción de aguas residuales	Fácil
Desmineralización completa	1 ... 5 % combustible	Fácil
Válvula de vapor de escape controlada	0.5 ... 1 % combustible	Fácil
Sustitución del quemador para ajustar la potencia	≤ 8 % combustible	Fácil
Control de combustión, control de O <sub>2</sub> y CO	≤ 1.0 % combustible	Fácil
Control de velocidad, ventilador	≤ 75 % gastos de electricidad	Fácil
Supervisión automática del estado y optimización del control	1 ... 3 % combustible	Fácil
Vapor de expansión en el condensado	1 ... 3 % combustible	Fácil
Intercambiador de calor de gases de combustión	5 ... 7 % combustible	Fácil
Intercambiador de calor de condensación	5 ... 7 % combustible	Fácil
Pre calentamiento del aire	1 ... 3 % combustible	Complejo
Conversión de funcionamiento con aceite a funcionamiento con gas, uso de sistemas de combustión multicomcombustible	≤ 25 % costos, ≤ 30 % emisiones de CO <sub>2</sub>	Complejo
Sistema de condensado de alta presión	5 ... 12 % combustible	Complejo

**Tab. 31** Medidas de retroadaptación con el correspondiente ahorro potencial



Dampfkessel 1  
4-Zug-Kessel

 **BOSCH**



## 5 Combinación de procesos

### 5.1 Cogeneración

El uso de un sistema combinado de calor y electricidad para aplicaciones comerciales o industriales puede constituir una alternativa viable a la generación de calor de proceso puro o a la generación de calor térmico.

Una turbina de gas o una unidad combinada de calor y electricidad generan energía mecánica (potencia) que se convierte en corriente a través de un generador. Los gases de combustión calientes, que normalmente están a una temperatura de 300 ... 600 °C se envían a una caldera de calor residual o de 4 pasos para generar vapor o agua caliente (calor).

Una caldera de 4 pasos es una caldera convencional de 3 pasos con un cuarto paso de humos adicional integrado y puede diseñarse como caldera de vapor o de agua caliente.

→ Productos – Capítulo 3.2: Caldera de 4 pasos con quemador, página 336

Gracias a la combustión integrada, normalmente pueden omitirse las calderas de carga máxima que suelen ser necesarias cuando se utilizan únicamente calderas de recuperación de calor. Esto reduce en gran medida los costes de inversión, las necesidades de espacio y los gastos de equipamiento. La potencia térmica obtenida mediante la introducción del calor residual representa hasta el 15 % de la potencia nominal total de la caldera. Esto suele ser absolutamente suficiente para cubrir la potencia de carga base en relación con la demanda de energía térmica.

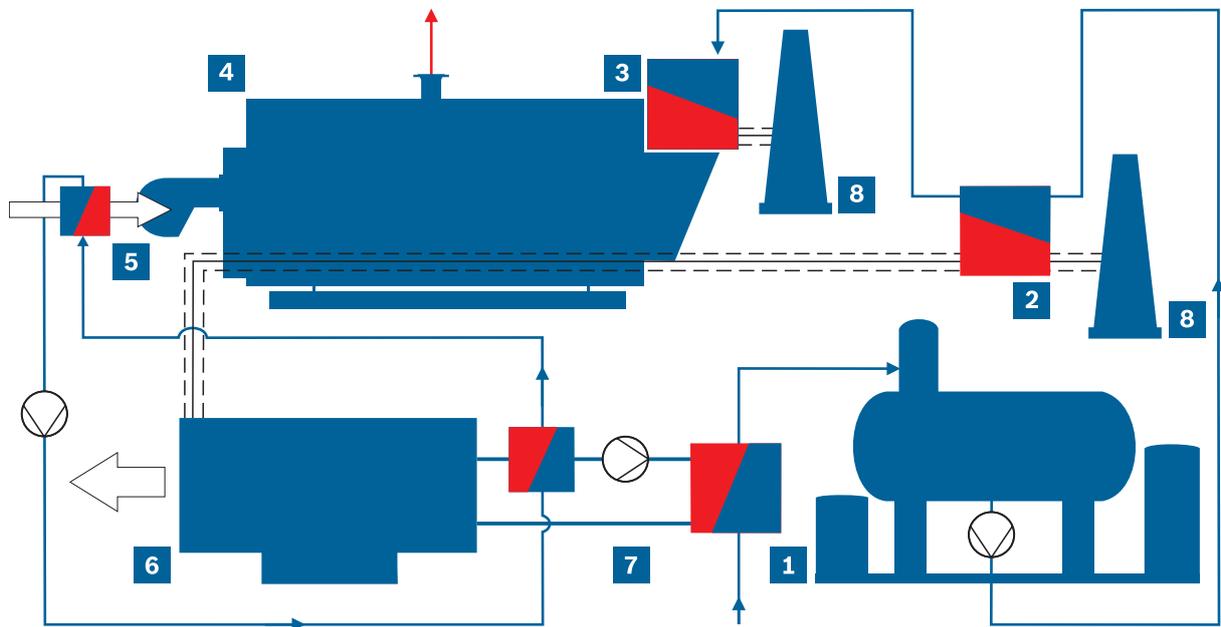
→ Productos – Capítulo 3.1: Caldera de vapor de recuperación de calor UNIVERSAL HRSB, página 333

Sin embargo, si la potencia de carga base es significativamente superior, puede resultar más adecuado utilizar una caldera de carga punta combinada con una caldera de calor residual puro.

En cualquier caso, se recomienda seleccionar la potencia nominal de la unidad que produce el calor residual (turbina de gas/módulo de cogeneración) de modo que la energía térmica obtenida de los gases de combustión no supere la potencia de carga base de los consumidores de calor. De este modo se garantiza la generación continua de energía en el punto de funcionamiento más económico sin tener que desviar de vez en cuando a la atmósfera el calor de los gases residuales no utilizado.



**Fig. 169** Caldera de recuperación de calor HRSB de Bosch



**Fig. 170** Ejemplo de conexión de una unidad de cogeneración a la generación de vapor de proceso mediante una caldera de vapor piro-tubular de combustión interna

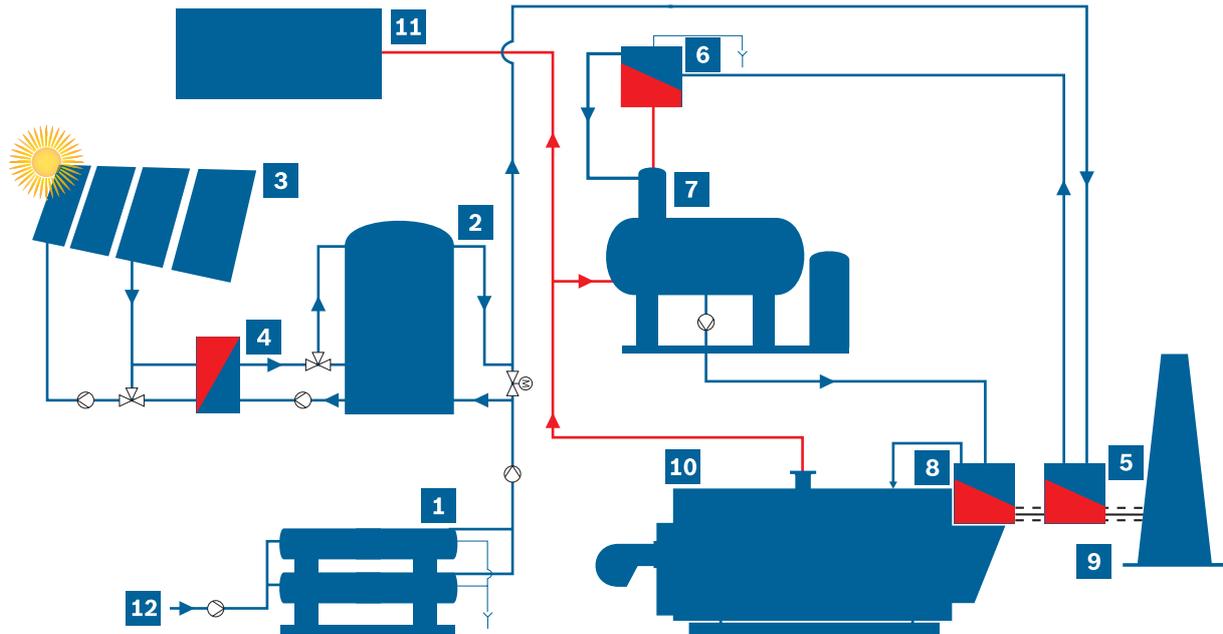
- |   |  |
|---|--|
| <b>1</b> Módulo de servicio de agua WSM-V               | <b>5</b> Precalentador de aire de combustión |
| <b>2</b> Intercambiador de calor de gases de combustión | <b>6</b> CHP                                 |
| <b>3</b> Economizador                                   | <b>7</b> Agua de refrigeración del motor     |
| <b>4</b> Caldera de vapor de 4 pasos                    | <b>8</b> Chimenea                            |



## 5.2 Respaldo de calor solar

Si la demanda de agua de reposición de un sistema de caldera de vapor es muy alta, tiene sentido utilizar combinaciones con calor solar. El agua de reposición tratada puede precalentarse con energía solar. A continuación, se suministra energía adicional al generador de vapor para producir vapor saturado a alta presión.

Si se dan las condiciones marco adecuadas, con este tipo de combinación de sistemas se puede garantizar un suministro de energía económico y respetuoso con el medio ambiente.



**Fig. 171** Ejemplo de conexión de un sistema de calor solar a la generación de vapor de proceso (representación muy simplificada)

- |   |   |
|---|---|
| <b>1</b> Sistema de ósmosis                 | <b>7</b> Módulo de servicio de agua WSM-V |
| <b>2</b> Acumulador de calor                | <b>8</b> Economizador ECO                 |
| <b>3</b> Sistema de calor solar             | <b>9</b> Chimenea                         |
| <b>4</b> Intercambiador de calor            | <b>10</b> Caldera de vapor UL-S           |
| <b>5</b> Intercambiador de condensación ECO | <b>11</b> Consumidor                      |
| <b>6</b> Refrigerador de vapor VC           | <b>12</b> Agua dulce                      |

## Productos

<b>1</b>	<b>Resumen de productos de calderas de vapor</b>	<b>309</b>
<b>2</b>	<b>Calderas de vapor</b>	<b>311</b>
2.1	Caldera de vapor UNIVERSAL U-ND/U-HD	311
2.2	Caldera de vapor UNIVERSAL U-MB	316
2.3	Caldera de vapor UNIVERSAL UL-S/UL-SX	321
2.4	Caldera de vapor UNIVERSAL ZFR/ZFR-X	326
2.5	Módulo sobrecalentador	331
<b>3</b>	<b>Calderas de recuperación de calor y recuperación de calor residual</b>	<b>333</b>
3.1	Caldera de vapor de recuperación de calor UNIVERSAL HRSB	333
3.2	Caldera de 4 pasos con quemador	336
3.3	Tecnología de sistemas de ahorro de energía	338
<b>4</b>	<b>Módulos para calderas de vapor</b>	<b>341</b>
4.1	Módulo de servicio de agua WSM	341
4.2	Distribuidor de vapor SD	343
4.3	Módulo acumulador de vapor SAM	344
4.4	Módulo de servicio de condensados CSM, planta de alta presión de condensados CHP	345
4.5	Módulo de purga, expansión y refrigeración BEM	347
4.6	Módulo de expansión y recuperación de calor EHM	348
4.7	Módulo de expansión, recuperación de calor y purga EHB	349
4.8	Refrigerador de vapor VC	350
4.9	Módulo de bombeo PM	350
4.10	Módulo de regulación del agua de alimentación RM	351
4.11	Intercambiador de calor de gases de combustión ECO autónomo	352
4.12	Intercambiador de calor autónomo con condensación de gases de combustión	353
4.13	Sistema de precalentamiento del aire APH	354
4.14	Módulo de refrigeración de agua de alimentación FWM	356
4.15	Analizador de agua WA	357



<b>5</b>	<b>Módulos de alimentación de calderas</b>	<b>361</b>
5.1	Módulo de tratamiento del agua WTM	361
5.2	Módulo de regulación de gas GRM	362
5.3	Módulo de circulación de aceite OCM	362
5.4	Módulo de suministro de aceite OSM	363
5.5	Módulo de regulación de la presión del aceite ORM	363
5.6	Módulo de precalentamiento de aceite OPM	364
<b>6</b>	<b>Controles del sistema</b>	<b>367</b>
6.1	Control de caldera BCO	367
6.2	Control compacto de calderas de vapor CSC	369
6.3	Control del sistema SCO	370
6.4	MEC Optimize	371
6.5	MEC System	373
6.6	MEC Remote	374



**BOSCH**

Bosch Industriekessel GmbH

Ein Unternehmen der  
Bosch Thermotechnik GmbH



**BOSCH**





**Resumen de productos**

Calderas de vapor

Recuperación de calor

Módulos para calderas de vapor

Módulos de alimentación

Controles del sistema

# 1 Resumen de productos de calderas de vapor

## Calderas de vapor

	U-ND	U-HD	U-MB	UL-S(X)	ZFR(X)
					
<b>Potencia t/h</b>	0.2–3.2	0.2–3.2	0.2–2	1.2–28	18–55
<b>Temperatura máx °C</b>	110	204	204	300	300
<b>Presión máx en bar</b>	0.5	16	16	30	30

Tab. 32 Calderas de vapor

## Heat recovery

Caldera de recuperación de calor HRSB	Caldera de 4 pasos con quemador	Caldera de 3 pasos sin quemador	Recuperación y uso
			
Caldera de vapor con recuperación de calor	Caldera de recuperación de calor, vapor/ agua caliente		Calor residual

Tab. 33 Recuperación de calor

## Componentes

Control de la caldera/sistema	Agua	Vapor/condensado	Vapor/condensado
			
Controles	Módulos	Módulos	Sistemas de combustión

Tab. 34 Componentes





## 2 Calderas de vapor

### 2.1 Caldera de vapor UNIVERSAL U-ND/U-HD

Esta caldera combina las ventajas de la tecnología de calderas pirotubulares con la eficacia del sistema de tubos de humo y llama. Esta caldera funciona según el principio de llama inversa. Los ámbitos de aplicación típicos son, en particular, las pequeñas empresas manufactureras, la industria de transformación y la industria de servicios.



Fig. 172 Caldera de vapor U-ND/U-HD

Datos técnicos	Modelo U-ND	Modelo U-HD
<b>Medio de transferencia de calor</b>	Vapor saturado de baja presión	Vapor saturado de alta presión
<b>Diseño</b>	Tecnología de tubo de llama/ tubo de humo	Tecnología de tubo de llama/ tubo de humo
<b>Producción en kg/h</b>	175 a 3.200	175 a 3.200
<b>Presión de seguridad en bar</b>	Hasta 0.5	Hasta 16
<b>Temperatura máx. en °C</b>	110	204
<b>Combustible</b>	Combustión de aceite, gas y multicombustible	Combustión de aceite, gas y multicombustible



### **Alta eficiencia para reducir los costes de operación**

Para conseguir un modo de funcionamiento eficiente y que ahorre energía, la caldera compacta puede equiparse con economizador, control continuo del agua de alimentación y muchos más dispositivos de recuperación de calor. La inversión en estas medidas de ahorro energético garantiza un alto rendimiento de su sistema de calderas, protege nuestro medio ambiente de forma sostenible y conlleva una reducción a largo plazo de los costes de operación.

- Concepto de aislamiento térmico eficaz para emisiones mínimas
- Alto rendimiento a carga parcial y a plena carga
- Combustión poco contaminante mediante el uso de sistemas de combustión altamente desarrollados y una cuidadosa adaptación de la mejor combinación caldera/quemador

### **Concepto de manejo sencillo**

- Control intuitivo de la caldera basado en PLC con excelente transparencia de los datos de funcionamiento
- Control automático de arranque, espera y parada SUC
- Compatible con la tecnología de conexión remota MEC Remote

### **Rendimiento fiable y equipos a medida**

El tubo de llama de gran volumen y los haces de tubos de humo están perfectamente armonizados. La caldera se caracteriza por su diseño compacto.

- Disponible como variante de alta y baja presión
- Diseño técnico que ya ha demostrado su eficacia miles de veces en la práctica: duradero y fiable
- Certificado según la Directiva Europea de Equipos a Presión (sistemas de calderas de alta presión)
- Disponibles variantes específicas para más de 140 países
- Apto para muchos sistemas de quemadores

### **Instalación rápida y mantenimiento eficaz**

- Cableado in situ simplificado gracias a las conexiones enchufables
- Puesta en marcha sin problemas gracias a los módulos premontados y al control preparametrizado de la caldera
- Mantenimiento sencillo: fácil inspección tanto del lado de los gases de combustión como del lado del agua
- Fácil ampliación y modernización posteriores



Resumen de productos

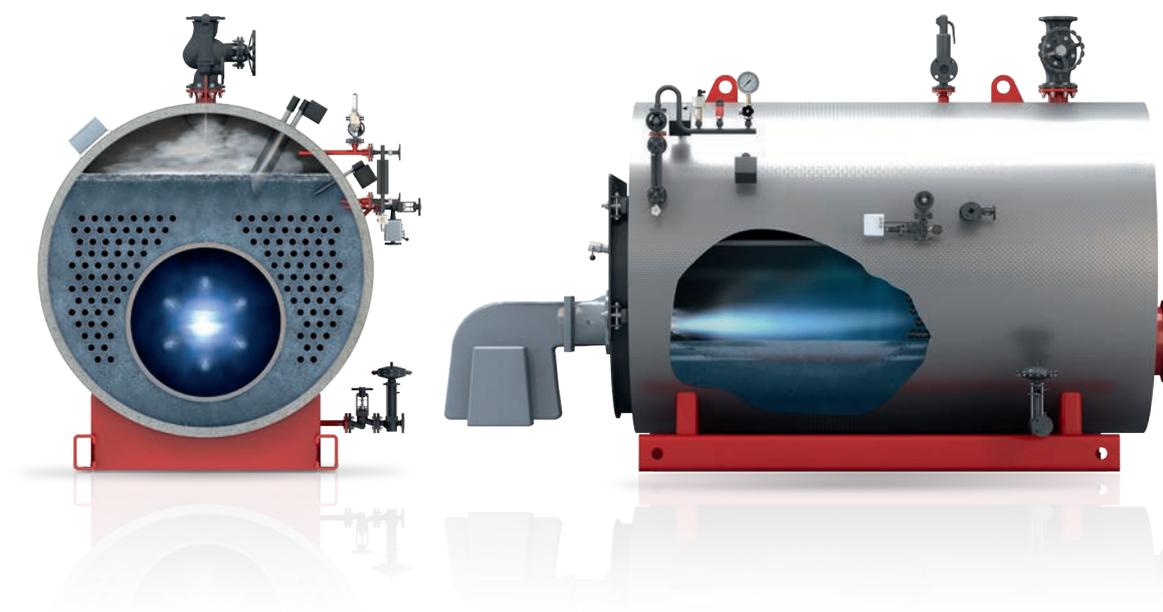
**Calderas de vapor**

Recuperación de calor

Módulos para calderas de vapor

Módulos de alimentación

Controles del sistema



**Fig. 173** Vista en sección U-ND/U-HD

### Construcción

Esta rentable caldera de vapor convence por su diseño compacto y su funcionamiento técnicamente eficiente. El gran hogar de combustión, situado en el centro, garantiza una excelente combustión de los combustibles. Los tubos de humo dispuestos centralmente alrededor del hogar permiten una transferencia de calor óptima. Mediante el principio de inversión de llama, los gases de combustión del tubo de llama se desvían hacia delante y se distribuyen en la cámara de inversión frontal a las zonas de los tubos de humo. La puerta frontal abatible de la caldera (derecha/izquierda) permite un cómodo acceso para inspeccionar la caldera y el quemador. El aislamiento de lana mineral de alta calidad de todo el envoltorio de la caldera, combinado con los materiales aislantes especiales de la puerta frontal, mantienen las pérdidas de calor por radiación a un nivel bajo. El aislamiento de lana mineral multicapa está disponible bajo pedido. A diferencia del revestimiento refractario clásico, el material aislante compuesto de Bosch tiene valores de aislamiento superiores. Otra ventaja es la ausencia de mantenimiento durante toda la vida útil, suponiendo que el funcionamiento y la puesta en servicio sean correctos. Como alternativa al revestimiento exterior de la caldera, que de serie es de robusta chapa de aluminio, también se pueden utilizar revestimientos especiales de acero inoxidable, chapa galvanizada o para instalación en exteriores.

### Componentes asociados del cuarto de calderas

- Módulo de tratamiento de agua WTM
- Módulo de servicio de agua WSM
- Módulo de servicio de condensados CSM
- Módulo de purga, expansión y refrigeración BEM
- Módulo de expansión y recuperación de calor EHM
- Módulo de expansión, recuperación de calor y purga EHB
- Módulo de bombeo PM
- Intercambiador de calor de gases de combustión ECO 3 para instalación independiente
- Enfriador de vapor VC
- Módulo de regulación de gas GRM
- Módulo de circulación de aceite OCM
- Módulo de alimentación de aceite OSM
- Control del sistema SCO
- Distribuidor de vapor SD



**Fig. 174** Módulo de expansión, recuperación de calor y purga EHB

→ Productos – Capítulo 4: Módulos para calderas de vapor, página 341

→ Productos – Capítulo 5: Módulos de alimentación para calderas, página 361

### Equipamiento

Nuestras calderas pirotubulares se ofrecen con equipamiento\* incluido y, por tanto, son unidades totalmente funcionales. El equipamiento básico de alta calidad comprende el depósito a presión de la caldera, los componentes de control y seguridad, la unidad de quemador, un economizador integrado, un módulo de bomba, una caja de bornes y el armario de distribución de control, incluido el control de caldera BCO de fácil manejo. Todas las calderas U-ND/U-HD pueden equiparse también con la variante de control CSC, de precio asequible. Los sensores, actuadores y dispositivos de seguridad de la caldera ya están cableados y combinados en la caja de bornes. Los haces de cables premontados, enchufables y codificados simplifican la conexión entre el armario de control de la caldera y la caja de bornes durante la instalación. El armario de distribución independiente o montado en la pared puede adaptarse y configurarse para ajustarse mejor a las necesidades in situ.

\*El nivel de equipamiento es variable y puede configurarse libremente según las necesidades del cliente.



Resumen de productos

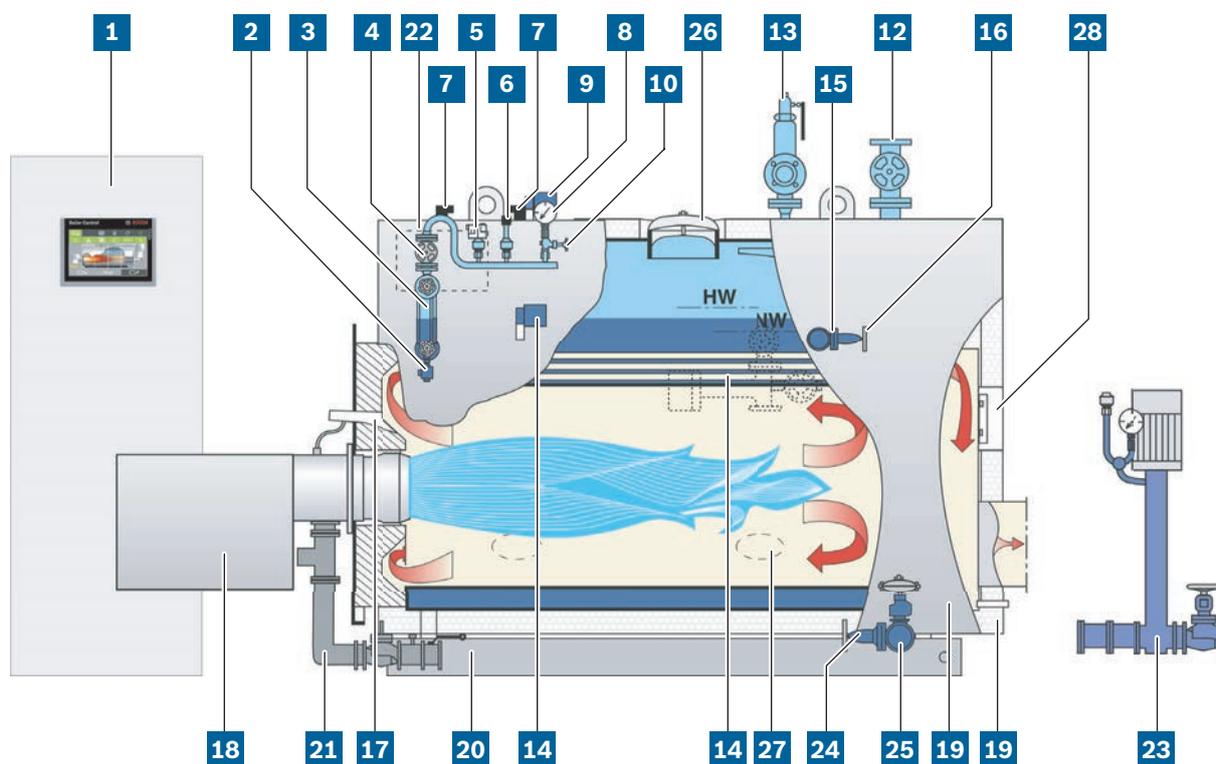
**Calderas de vapor**

Recuperación de calor

Módulos para calderas de vapor

Módulos de alimentación

Controles del sistema



**Fig. 175** Ilustración de U-ND/U-HD

- |  |  |
|--|--|
| <p><b>1</b> Armario de distribución con control de caldera BCO (como alternativa puede utilizarse la versión de control CSC)</p> <p><b>2</b> Grifo de purga</p> <p><b>3</b> Indicador reflectante del nivel de agua</p> <p><b>4</b> Válvula de cierre de tubo manostática, sin mantenimiento</p> <p><b>5</b> Limitador de presión</p> <p><b>6</b> Transmisor de presión (4-20 mA)</p> <p><b>7</b> Electrodo limitador de nivel bajo</p> <p><b>8</b> Manómetro</p> <p><b>9</b> Transductor de nivel (4-20 mA)</p> <p><b>10</b> Válvula de cierre del manómetro con función de comprobación</p> <p><b>12</b> Válvula de extracción de vapor</p> <p><b>13</b> Válvula de seguridad de elevación total</p> <p><b>14</b> Medición totalmente automática de la conductividad y purga de superficie</p> | <p><b>15</b> Válvula antirretorno de agua de alimentación</p> <p><b>16</b> Válvula de corte de agua de alimentación, sin mantenimiento</p> <p><b>17</b> Orificio de inspección de la llama</p> <p><b>18</b> Quemador</p> <p><b>19</b> Aislamiento con cubierta protectora</p> <p><b>20</b> Bastidor de base</p> <p><b>21</b> Módulo de regulación de gas</p> <p><b>22</b> Caja de bornes</p> <p><b>23</b> Módulo de bombeo</p> <p><b>24</b> Válvula de cierre de drenaje, sin mantenimiento</p> <p><b>25</b> Válvula de purga de fondo de cierre rápido</p> <p><b>26</b> Boca de inspección, lado vapor</p> <p><b>27</b> Boca de inspección, lado del agua</p> <p><b>28</b> Boca de inspección, lado gases de combustión</p> |
|--|--|

## 2.2 Caldera de vapor UNIVERSAL U-MB

La descripción del producto U-MB significa "UNIVERSAL Modular Boiler" (caldera de vapor de 3 pasos con diseño modular). El tipo U-MB consta de varios módulos, que satisfacen perfectamente los requisitos individuales. Los ámbitos de aplicación típicos son la industria alimentaria y de bebidas, las empresas de lavandería y limpieza, así como las empresas industriales más pequeñas.



**Fig. 176** Imagen del sistema U-MB

Datos técnicos	Modelo U-M
<b>Medio de transferencia de calor</b>	Vapor saturado de alta presión
<b>Diseño</b>	Tecnología de tubo de llama/tubo de humo de 3 pasos
<b>Producción en kg/h</b>	De 200 a 2.000
<b>Presión de seguridad en bar</b>	Hasta 16
<b>Temperatura máx. en °C</b>	204
<b>Combustible</b>	Combustión de aceite, gas y multicomcombustible



Resumen de productos

**Calderas de vapor**

Recuperación de calor

Módulos para calderas de vapor

Módulos de alimentación

Controles del sistema

### Alta eficiencia para reducir los costes de operación

Los componentes de la caldera se configuran teniendo en cuenta las bajas emisiones, la alta calidad del vapor y la eficiencia energética óptima.

- Alto nivel de eficiencia gracias al economizador integrado
- Maximización de la eficiencia gracias a los módulos modulares de recuperación de calor



### Concepto de manejo sencillo

- Manejo intuitivo mediante pantalla táctil y control PLC
- El sistema de control de la caldera de vapor con conexión remota opcional y sus demás equipos son idénticos a los de la serie de calderas industriales grandes
- Control automático de arranque, espera y parada SUC

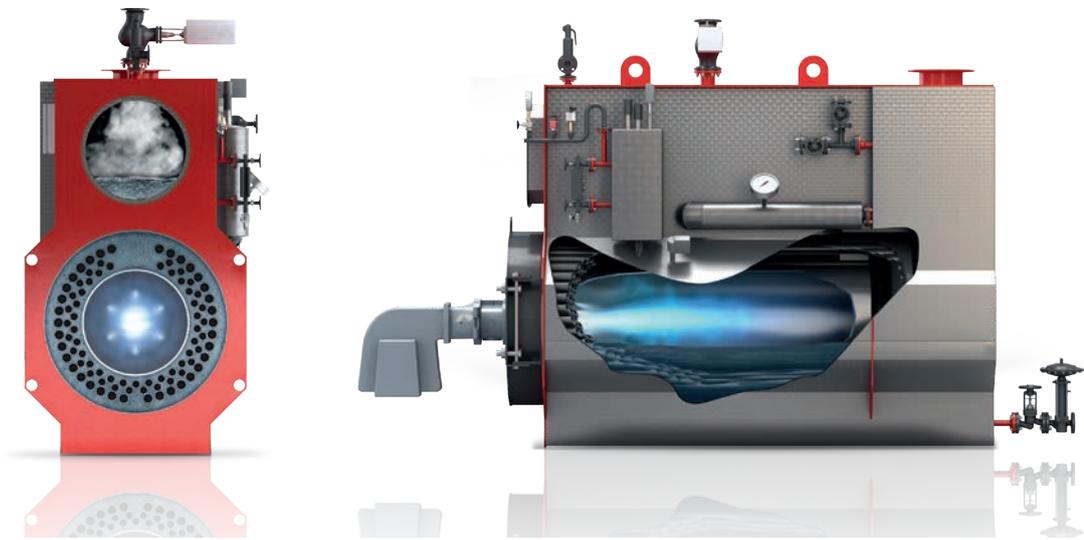
### Rendimiento fiable y equipos a medida

La caldera de vapor de 3 pasos puede utilizarse universalmente para todas las aplicaciones. Naturalmente, puede combinarse con todos los demás componentes de sistema disponibles de nuestra gama modular para el suministro de combustible y agua, la evacuación de agua, el análisis de agua y la recuperación de calor.

- Amplio equipamiento de serie
- Caldera pirotubular y tecnología de 3 pasos
- Ocupa poco espacio gracias a su diseño compacto
- El diseño modular, que se basa en el uso sistemático de características de diseño y piezas que también se utilizan en otras series tipo, garantiza una relación calidad-precio especialmente atractiva

### Instalación rápida y mantenimiento eficaz

- Reducción del esfuerzo de instalación gracias al suministro como una sola unidad: el equipo, el sistema de combustión y el economizador ya se han montado en fábrica.
- Diseño compacto para llevar la caldera al emplazamiento fácilmente si el espacio es limitado
- Puesta en marcha sin problemas gracias al control preparametrizado de la caldera
- Cableado simplificado in situ gracias a las conexiones enchufables



**Fig. 177** Vista en sección U-MB

### Construcción

La caldera de vapor U-MB está diseñada como caldera de tubos de humo/llamas de 3 pasos. Consta de varios módulos, a saber, la sección de generación de calor en diseño de 3 pasos, la cámara de vapor situada encima y un economizador integrado. Gracias a su diseño de 3 pasos, no se requieren componentes de flujo en los tubos de humo.

La sección de generación de calor de la U-MB se basa en el diseño de caldera UNIMAT, probado durante décadas y miles de veces en la práctica. La geometría generosamente dimensionada de los tubos de llama permite un proceso de combustión eficiente.

La elección de la sección de vapor influye decisivamente en la calidad del vapor. Un dimensionado generoso tiene un impacto muy positivo en la humedad residual del vapor.

El economizador integrado influye directamente en la eficiencia energética. El calor contenido en los gases de combustión se utiliza para precalentar el agua de alimentación de la caldera, lo que significa que la mayor parte se recupera. Esto reduce el consumo de combustible y las emisiones.

El generador de vapor se somete al examen de tipo y se fabrica siguiendo las estrictas directrices del sistema de aseguramiento de la calidad del módulo D de la Directiva sobre equipos a presión.



Resumen de productos

**Calderas de vapor**

Recuperación de calor

Módulos para calderas de vapor

Módulos de alimentación

Controles del sistema

### Componentes asociados del cuarto de calderas

- Módulo de tratamiento de agua WTM
- Módulo de servicio de agua WSM
- Módulo de servicio de condensados CSM
- Módulo de purga, expansión y refrigeración
- módulo BEM
- Expansión y recuperación de calor
- módulo EHM
- Módulo de bombeo PM
- Expansión, recuperación de calor y purga EHB
- Módulo de regulación de gas GRM
- Módulo de circulación de aceite OCM
- Módulo de suministro de aceite OSM
- Control del sistema SCO
- Distribuidor de vapor SD



Fig. 178 Módulo de servicio de agua WSM

→ Productos – Capítulo 4: Módulos para calderas de vapor, página 341

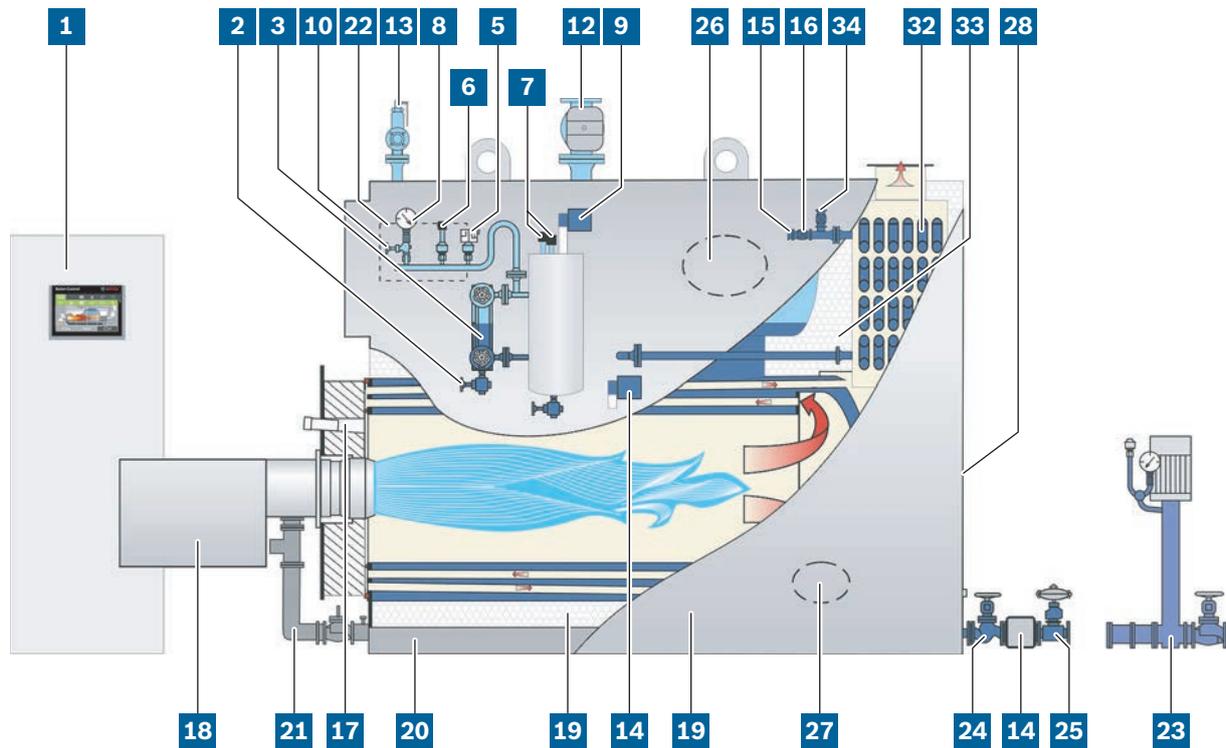
→ Productos – Capítulo 5: Módulos de alimentación para calderas, página 361

### Equipamiento

Ofrecemos la caldera de vapor UNIVERSAL U-MB como sistema de caldera completo con equipamiento\*. El equipamiento básico comprende el depósito a presión de la caldera, los componentes de control y seguridad, la unidad de quemador, un economizador integrado, un módulo de bomba, una caja de bornes y el armario de distribución de control, incluido el control de caldera BCO de fácil manejo. Los sensores, actuadores y dispositivos de seguridad ya están cableados y combinados en la caja de bornes.

Los haces de cables premontados, enchufables y codificados simplifican la conexión entre el armario de control de la caldera y la caja de bornes durante la instalación. El armario de distribución independiente o montado en la pared puede adaptarse y configurarse para satisfacer mejor las necesidades in situ.

\*El nivel de equipamiento es variable y puede configurarse libremente según las necesidades del cliente.



**Fig. 179** Ilustración de U-MB

- |  |   |
|--|---|
| <b>1</b> Armario de distribución con control de caldera BCO                        | <b>18</b> Quemador  |
| <b>2</b> Grifo de purga  | <b>19</b> Aislamiento con cubierta protectora                 |
| <b>3</b> Indicador reflectante de nivel de agua                                    | <b>20</b> Bastidor de base                                    |
| <b>5</b> Limitador de presión  | <b>21</b> Módulo de regulación de gas                         |
| <b>6</b> Transmisor de presión (4-20 mA)   | <b>22</b> Caja de bornes                                      |
| <b>7</b> Electrodo limitador de nivel bajo   | <b>23</b> Módulo de bombeo                                    |
| <b>8</b> Manómetro   | <b>24</b> Válvula de cierre de drenaje, sin mantenimiento     |
| <b>9</b> Transmisor de nivel (4-20 mA)   | <b>25</b> Válvula de purga de fondo de cierre rápido          |
| <b>10</b> Válvula de cierre del manómetro con función de comprobación              | <b>26</b> Boca de inspección, lado vapor                      |
| <b>12</b> Válvula de extracción de vapor   | <b>27</b> Boca de inspección, lado del agua                   |
| <b>13</b> Válvula de seguridad de elevación total                                  | <b>28</b> Boca de inspección, lado de los gases de combustión |
| <b>14</b> Medición totalmente automática de la conductividad y purga de superficie | <b>32</b> Intercambiador de gases de combustión ECO           |
| <b>15</b> Válvula antirretorno del agua de alimentación                            | <b>33</b> Tubería de conexión ECO/caldera                     |
| <b>16</b> Válvula antirretorno del agua de alimentación, sin mantenimiento         | <b>34</b> Válvula de cierre de ventilación ECO                |
| <b>17</b> Orificio de inspección de la llama                                       |   |



Resumen de productos

**Calderas de vapor**

Recuperación de calor

Módulos para calderas de vapor

Módulos de alimentación

Controles del sistema

## 2.3 Caldera de vapor UNIVERSAL UL-S/UL-SX

El tipo de caldera UNIVERSAL UL-S es una caldera piro-tubular de 3 pasos que cumple todos los requisitos en los rangos de potencia medio y alto. Los campos de aplicación típicos son las industrias de transformación, el sector comercial y los edificios públicos.



Fig. 180 Imagen del sistema U-LS/UL-SX

Datos técnicos	Modelo UL-S	Modelo UL-SX
<b>Medio de transferencia de calor</b>	Vapor saturado de alta presión	Vapor sobrecalentado a alta presión
<b>Diseño</b>	Tecnología de tubo de llama/ tubo de humo de 3 pasos	Tecnología de tubo de llama/ tubo de humo de 3 pasos
<b>Producción en kg/h</b>	De 1.250 a 28.000	De 2.600 a 28.000
<b>Presión de seguridad en bar</b>	Hasta 30	Hasta 30
<b>Temperatura máx. en °C</b>	235	300
<b>Combustible</b>	Combustión de aceite, gas y multicombustible	Combustión de aceite, gas y multicombustible



### **Alta eficiencia para reducir los costes de operación**

El flujo de gases de combustión de una caldera de vapor contiene un importante potencial calorífico. Para aumentar el rendimiento de la caldera, esta serie de calderas también está disponible con un economizador integrado para la recuperación del calor de los gases de combustión. Además, los módulos opcionales para el control continuo del agua de alimentación, un ventilador del quemador de velocidad controlada y controles de O<sub>2</sub>/CO también se deben utilizar para un funcionamiento aún más eficiente y respetuoso con el medio ambiente.

- Alto nivel de eficiencia gracias a la tecnología de 3 pasos, un economizador integrado y un eficaz concepto de aislamiento térmico
- Las temperaturas de los gases de combustión inferiores a 50 °C son posibles con el uso de condensación
- La caldera puede equiparse con un 4º paso independiente para el aprovechamiento del calor residual (por ejemplo, de unidades combinadas de calor y electricidad)
- Combustión de bajas emisiones, por debajo de 50 mg NOX, gracias al uso de sistemas de combustión altamente desarrollados y a la cuidadosa selección de la mejor combinación caldera/quemador.

### **Concepto de manejo sencillo**

- Control intuitivo de la caldera basado en PLC con excelente transparencia de los datos de funcionamiento
- Control automático de arranque, espera y parada SUC
- Compatible con la tecnología de conexión remota MEC Remote

### **Rendimiento fiable y equipos a medida**

El tubo de llama y la cámara interna de inversión de los gases de combustión, junto con el primer paso del tubo de humos y el segundo paso del tubo de humos, están dispuestos de forma que el flujo dentro del depósito de presión cilíndrico horizontal sea óptimo. Las superficies de calentamiento por radiación y convección interactúan entre sí y generan una rápida circulación del agua, acelerando así el transporte de las burbujas de vapor a la cámara de vapor. Gracias a una transferencia de calor uniforme, el calor del combustible se convierte rápidamente en vapor sin que se produzcan tensiones en el material.

- Alto nivel de consistencia de la presión y calidad del vapor, incluso con una demanda de vapor muy fluctuante, gracias a una cámara de vapor alta y al control de tres componentes
- Gran superficie de formación de vapor gracias al diseño asimétrico
- Apto para casi todos los sistemas de quemadores
- El depósito de presión de la caldera también se puede utilizar como caldera de recuperación de calor pura (sin quemador) aguas abajo de unidades combinadas de calor y electricidad o turbinas de gas
- Diseño técnico que ya ha demostrado su eficacia miles de veces en la práctica: duradero y fiable



Resumen de productos

**Calderas de vapor**

Recuperación de calor

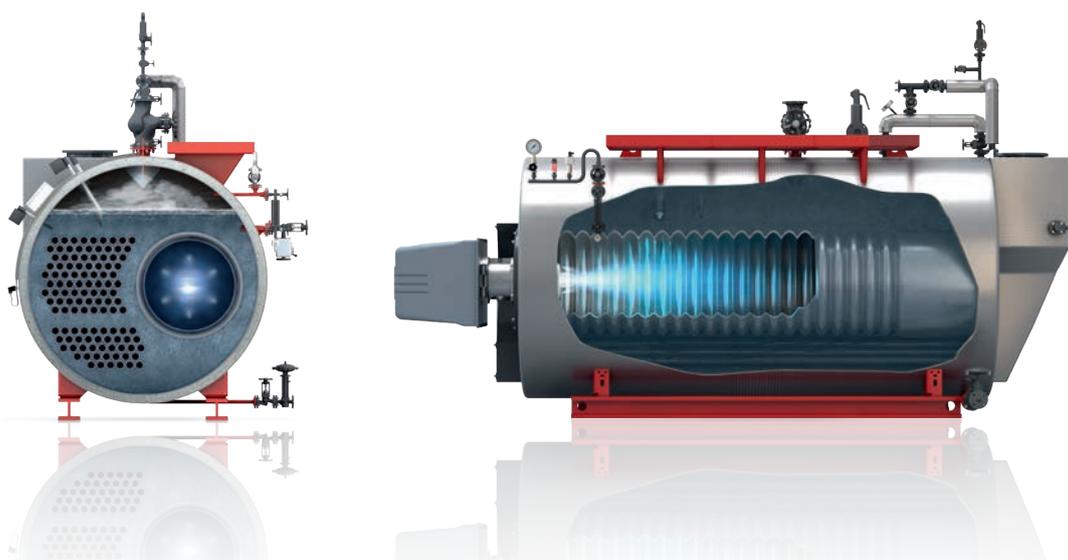
Módulos para calderas de vapor

Módulos de alimentación

Controles del sistema

### Instalación rápida y mantenimiento eficaz

- Puesta en servicio sin problemas gracias a los módulos premontados y a un control de caldera preparametrizado
- Fácil ampliación y modernización posteriores
- Cableado in situ simplificado gracias a las conexiones enchufables
- Fácil mantenimiento: inspección sencilla tanto del lado de los gases de combustión como del lado del agua.



**Fig. 181** Vista en sección UL-S/UL-SX

### Construcción

Nuestra patente de 3 pasos, que data de 1952, constituye la base del éxito sobresaliente y continuo de esta línea de productos. El tubo de llama lateral (1er paso) y los haces de tubos de humo adyacentes (2º y 3er paso) están integrados de forma ideal en el depósito de presión junto con la cámara de inversión completamente húmeda. Esta disposición da como resultado una gran superficie de calentamiento con unas dimensiones totales excepcionalmente reducidas. Además, la caldera UL-S dispone de una cámara de vapor maximizada, lo que resulta especialmente ventajoso en caso de demanda dinámica de vapor. El hogar de combustión se fija en ambos extremos del cuerpo de la caldera y se conecta a la carcasa mediante el ingenioso uso de tirantes diagonales (anclajes angulares) que distribuyen uniformemente la carga. En comparación con las construcciones de espárragos anticuadas, el diseño de Bosch aumenta la robustez y durabilidad de las calderas - también cuando están expuestas a cargas dinámicas.

### Componentes asociados del cuarto de calderas

- Módulo de tratamiento de agua WTM
- Módulo de servicio de agua WSM
- Módulo de servicio de condensados CSM
- Módulo de purga, expansión y refrigeración BEM
- Analizador de agua WA
- Intercambiador de calor de gases de combustión ECO 1 para instalación independiente
- Intercambiador de calor de gases de combustión ECO 6 para condensación
- Expansión y recuperación de calor módulo EHM
- Módulo de bombeo PM
- Módulo de expansión, recuperación de calor y recuperación de calor y purga EHB
- Enfriador de vapor VC
- Módulo de regulación de gas GRM
- Módulo de circulación de aceite OCM
- Módulo de alimentación de aceite OSM
- Módulo de precalentamiento de aceite OPM
- Control del sistema SCO
- Módulo de refrigeración del agua de alimentación FWM
- Sistema de precalentamiento del aire APH
- Módulo de sobrecalentamiento
- Distribuidor de vapor SD



**Fig. 182** Distribuidor de vapor SD

→ Productos – Capítulo 4: Módulos para calderas de vapor, página 341

→ Productos – Capítulo 5: Módulos de alimentación para calderas, página 361

### Equipamiento

Ofrecemos la caldera de vapor UNIVERSAL UL-S/UL-SX como sistema de caldera completo, incluido el equipamiento\*. El equipamiento básico comprende el depósito a presión de la caldera, los componentes de control y seguridad, la unidad de quemador, un economizador integrado, un módulo de bomba, una caja de bornes y el armario de distribución de control, incluido el control de caldera BCO de fácil manejo. Para las calderas UL-S con una potencia de hasta 4.000 kg/h, puede utilizarse como alternativa la versión de control CSC, de precio asequible. Los sensores, actuadores y dispositivos de seguridad de la caldera ya están cableados y combinados en la caja de bornes. Los haces de cables premontados, enchufables y codificados simplifican la conexión entre el armario de control de la caldera y la caja de



Resumen de productos

**Calderas de vapor**

Recuperación de calor

Módulos para calderas de vapor

Módulos de alimentación

Controles del sistema

bornes durante la instalación. El armario de distribución independiente o montado en la pared puede adaptarse y configurarse para ajustarse mejor a las necesidades in situ.

\*El nivel de equipamiento es variable y puede configurarse libremente según las necesidades del cliente.

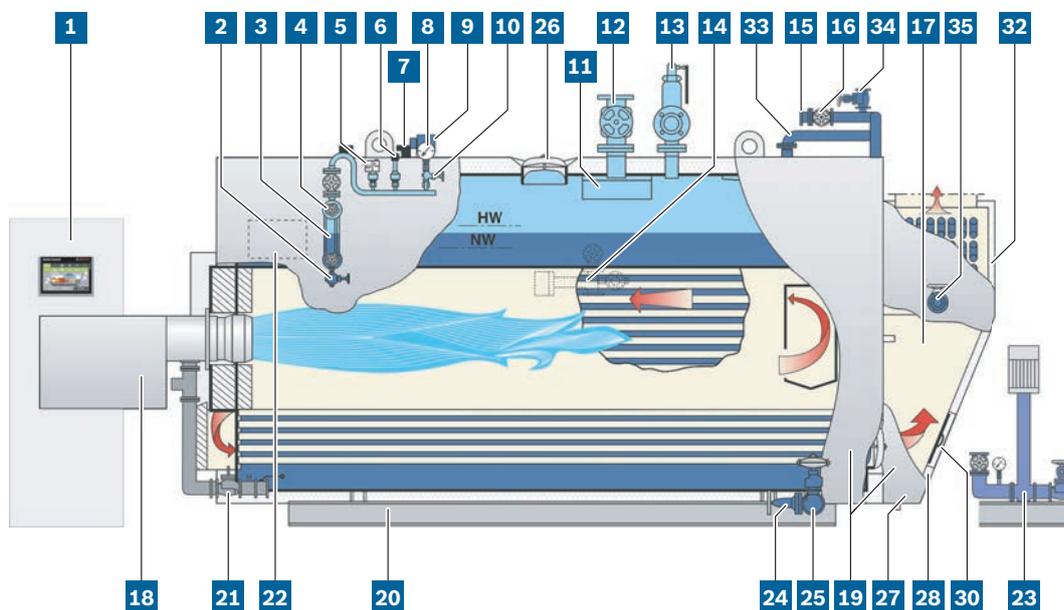


Ilustración de UL-S/UL-SX

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li><b>1</b> Armario de distribución con control de caldera BCO (el control CSC puede utilizarse como alternativa en calderas con potencias de hasta 4.000 kg/h)</li> <li><b>2</b> Llave de purga</li> <li><b>3</b> Indicador reflectante del nivel de agua</li> <li><b>4</b> Válvula de cierre de tubo manostática, sin mantenimiento</li> <li><b>5</b> Limitador de presión</li> <li><b>6</b> Transmisor de presión (4 ... 20 mA)</li> <li><b>7</b> Electrodo limitador de nivel bajo</li> <li><b>8</b> Manómetro</li> <li><b>9</b> Transductor de nivel (4 ... 20 mA)</li> <li><b>10</b> Válvula de cierre del manómetro con función de comprobación</li> <li><b>11</b> Secador de vapor</li> <li><b>12</b> Válvula de extracción de vapor</li> <li><b>13</b> Válvula de seguridad de elevación total</li> <li><b>14</b> Medición totalmente automática de la conductividad y purga superficial</li> <li><b>15</b> Válvula antirretorno del agua de alimentación</li> <li><b>16</b> Válvula de cierre del agua de alimentación,</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>sin mantenimiento</li> <li><b>17</b> Orificio de inspección de la llama</li> <li><b>18</b> Quemador</li> <li><b>19</b> Aislamiento con cubierta protectora</li> <li><b>20</b> Bastidor de base</li> <li><b>21</b> Módulo de regulación de gas</li> <li><b>22</b> Caja de bornes</li> <li><b>23</b> Módulo de bombeo</li> <li><b>24</b> Válvula de cierre de drenaje, sin mantenimiento</li> <li><b>25</b> Válvula de purga de fondo de cierre rápido</li> <li><b>26</b> Boca de inspección, lado vapor</li> <li><b>27</b> Boca de inspección, lado del agua</li> <li><b>28</b> Boca de inspección, lado de los gases de combustión</li> <li><b>30</b> Cámara de recogida de gases de combustión</li> <li><b>32</b> Intercambiador de gases de combustión ECO</li> <li><b>33</b> Tubería de conexión ECO/caldera</li> <li><b>34</b> Válvula de cierre de ventilación ECO</li> <li><b>35</b> Válvula de cierre de vaciado ECO (vaciado)</li> </ul> |
|--|---|

## 2.4 Caldera de vapor UNIVERSAL ZFR/ZFR-X

La caldera de vapor UNIVERSAL ZFR es una caldera piro-tubular en tecnología de 3 pasos con dos tubos de llama y pasos de gases de humo completamente separados. Cubre más o menos todas las necesidades de vapor y energía térmica en el rango de alto rendimiento. Los campos de aplicación típicos son los proveedores de energía, los edificios públicos, las industrias de transformación y las empresas comerciales de todos los sectores de la economía.



**Fig. 183** Sistema de caldera de vapor ZFR/ZFR-X

Datos técnicos	Modelo ZFR	Modelo ZFR-X
<b>Medio de transferencia de calor</b>	Vapor saturado de alta presión	Vapor sobrecalentado a alta presión
<b>Diseño</b>	Tecnología de doble tubo de llama/tubo de humo de 3 pasos	Tecnología de doble tubo de llama/tubo de humo de 3 pasos
<b>Producción en kg/h</b>	De 18.000 a 55.000	De 18.000 a 55.000
<b>Presión de seguridad en bar</b>	Hasta 30	Hasta 30
<b>Temperatura máx. en °C</b>	235	300
<b>Combustible</b>	Combustión de aceite, gas y multicomcombustible	Combustión de aceite, gas y multicomcombustible



Resumen de productos

**Calderas de vapor**

Recuperación de calor

Módulos para calderas de vapor

Módulos de alimentación

Controles del sistema

### Alta eficiencia para reducir los costes de operación

En el caso de la caldera de vapor UNIVERSAL ZFR, el regulador de potencia modulante para el funcionamiento "sin restricciones" con uno o dos tubos de llama y el control continuo del agua de alimentación son obligatorios. Para aprovechar potenciales de ahorro adicionales, podemos ofrecerle módulos opcionales para aumentar la eficiencia, por ejemplo, ventiladores de quemador de velocidad controlada o controles de combustión mediante el mantenimiento de los niveles de O<sub>2</sub> y/o CO.

- Alto nivel de eficiencia gracias a la tecnología de 3 pasos y al economizador integrado
- Eficaz concepto de aislamiento térmico
- Combustión de bajas emisiones gracias a la utilización de sistemas de combustión altamente desarrollados y a la cuidadosa adaptación de la mejor combinación caldera/quemador y geometría de los tubos de llama



### Concepto de manejo sencillo

- Control intuitivo de la caldera basado en PLC con excelente transparencia de los datos de funcionamiento
- Control automático de arranque, espera y parada SUC
- Compatible con la tecnología de conexión remota MEC Remote

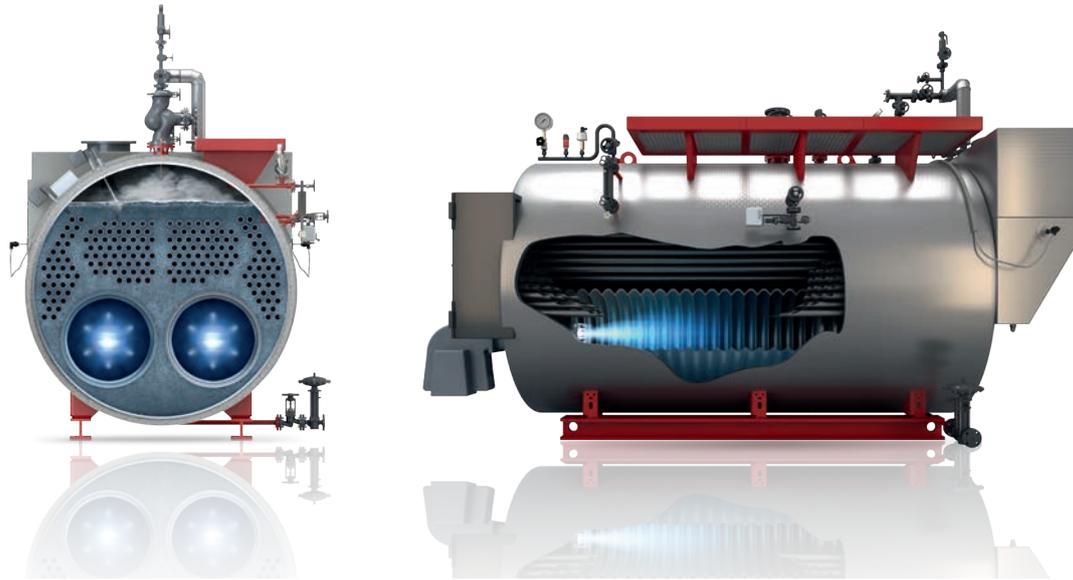
### Rendimiento fiable y equipos a medida

La caldera de doble hogar/tubo de humos con conductos de gases de humo separados también es adecuada para el funcionamiento con un solo quemador. El principio de 3 pasos con una cámara de inversión de gases de combustión situada en la cámara de agua se patentó en 1952. Gracias a su diseño modular, se pueden añadir fácilmente un economizador y un sobrecalentador. Las dimensiones de los tubos de llama, los haces de tubos de humos, la cámara de agua y la cámara de vapor están optimizadas termodinámicamente. Gracias a los racores de flujo instalados en el lado del agua, el calor del combustible se transfiere uniformemente y se convierte en vapor sin ningún esfuerzo material.

- Alto nivel de consistencia de la presión y calidad del vapor incluso con una demanda de vapor muy fluctuante
- Apto para casi todos los sistemas de quemadores
- Rango de regulación extremadamente amplio gracias al funcionamiento con un solo tubo de llama
- Homologación según la Directiva Europea de Equipos a Presión, por lo que puede utilizarse en todo el mundo
- Diseño técnico que ya ha demostrado su eficacia miles de veces en la práctica: duradero y fiable

### Instalación rápida y mantenimiento eficaz

- Puesta en servicio sin problemas gracias a los módulos premontados y al control preparametrizado de la caldera
- Fácil ampliación y modernización posteriores
- Cableado in situ simplificado gracias a las conexiones enchufables
- Mantenimiento sencillo: fácil inspección tanto del lado de los gases de combustión como del lado del agua



**Fig. 184** Vista en sección ZFR/ZFR-X

### Construcción

Su idoneidad para el funcionamiento en paralelo o individual sin restricciones de sus sistemas de combustión no sólo se debe a la separación estable en el lado de los gases de combustión. Las medidas constructivas especiales para neutralizar las fuerzas de tensión en el funcionamiento con un solo tubo de llama son decisivas para la estabilidad permanente. Los tubos de llama se introducen en los pisos delantero y trasero y se sueldan firmemente en todo su perímetro. A diferencia de los diseños de calderas con espárragos, se evitan tensiones de flexión inadmisibles. De este modo, la cámara de inversión de gases de combustión integrada en la parte trasera ofrece las ventajas de la refrigeración totalmente húmeda, al tiempo que reduce considerablemente sus esfuerzos mecánicos. La circulación del agua y la eficacia del transporte de calor aumentan considerablemente gracias a los perfiles guía del fondo de la caldera.

Además, las vías de flujo entre los tubos de llama y las zonas adyacentes de los tubos de humos aceleran aún más la circulación.

El funcionamiento totalmente automático con uno o ambos quemadores es posible sin restricciones gracias al funcionamiento homologado de un solo tubo de llama. Incluso combustibles diferentes en ambos sistemas de combustión no plantean ningún problema. El rango de regulación se duplica y cada fase de carga baja funciona con un solo quemador, con el consiguiente aumento del nivel de eficiencia.

→ Informe técnico FB003: Calderas de doble hogar



Resumen de productos

**Calderas de vapor**

Recuperación de calor

Módulos para calderas de vapor

Módulos de alimentación

Controles del sistema

### Componentes asociados del cuarto de calderas

- Módulo de tratamiento de agua WTM
- Módulo de servicio de agua WSM
- Módulo de servicio de condensados CSM
- Módulo de purga, expansión y refrigeración BEM
- Módulo de bombeo PM
- Expansión, recuperación de calor y recuperación de calor y purga EHB
- Enfriador de vapor VC
- Analizador de agua WA
- Expansión y recuperación de calor y recuperación de calor EHM
- Módulo de regulación de gas GRM
- Módulo de circulación de aceite OCM
- Módulo de alimentación de aceite OSM
- Módulo de precalentamiento de aceite OPM
- Control del sistema SCO
- Intercambiador de calor de gases de combustión ECO 1 para instalación independiente
- Intercambiador de calor de gases de combustión ECO 6 para uso de condensación
- Sistema de precalentamiento del aire APH
- Módulo sobrecalentador
- Distribuidor de vapor SD



**Fig. 185** Intercambiador de calor de gases de combustión ECO 6 para condensación

→ Productos – Capítulo 4: Módulos para calderas de vapor, página 341

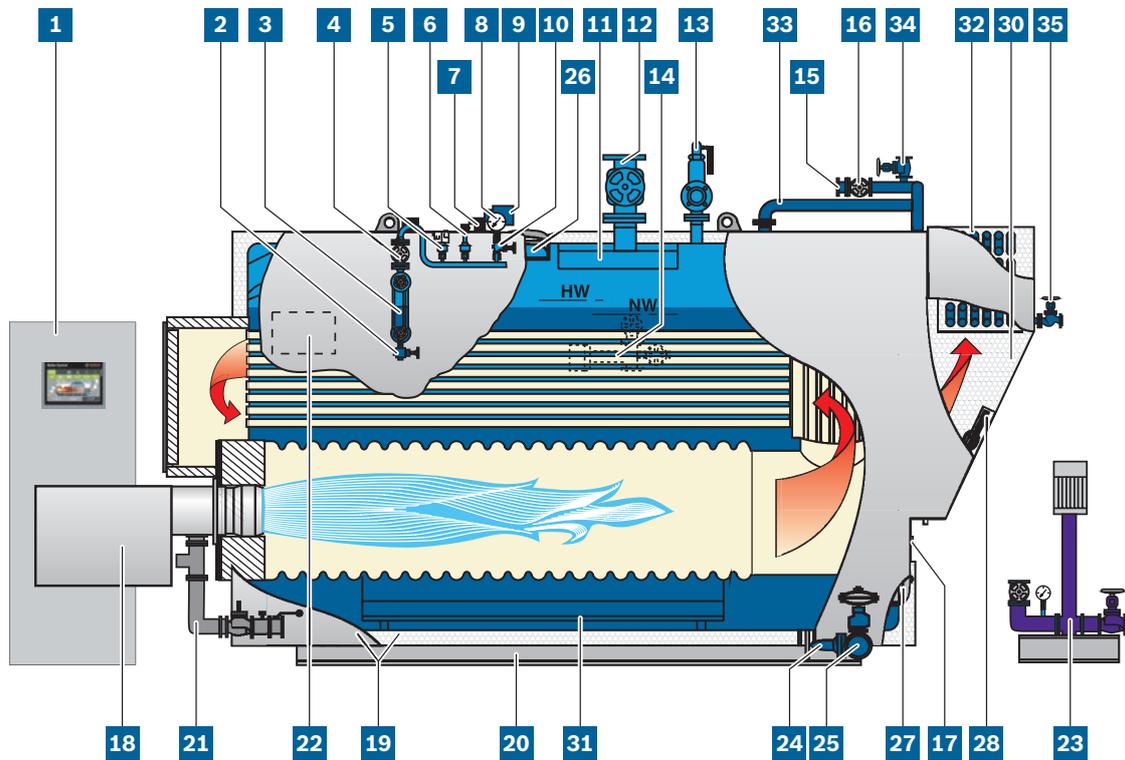
→ Productos – Capítulo 5: Módulos de alimentación para calderas, página 361

### Equipamiento

Ofrecemos la caldera de vapor UNIVERSAL ZFR/ZFR-X como sistema de caldera completo con equipamiento\*.

El equipamiento básico comprende el depósito a presión de la caldera, los componentes de control y seguridad, la unidad de quemador, un economizador integrado, un módulo de bomba, una caja de bornes y el armario de distribución de control, incluido el control de caldera BCO de fácil manejo. Los sensores, actuadores y dispositivos de seguridad ya están cableados y combinados en la caja de bornes. Los haces de cables premontados, enchufables y codificados simplifican la conexión entre el armario de control de la caldera y la caja de bornes durante la instalación. El armario de distribución independiente o montado en la pared puede adaptarse y configurarse para ajustarse mejor a las necesidades in situ.

\*El nivel de equipamiento es variable y puede configurarse libremente según las necesidades del cliente.



**Fig. 186** Ilustración de ZFR/ZFR-X

- |   |  |
|---|--|
| <b>1</b> Armario de distribución con control de caldera BCO                   | <b>17</b> Orificio de inspección de la llama               |
| <b>2</b> Grifo de purga   | <b>18</b> Quemador   |
| <b>3</b> Indicador reflectante de nivel de agua                               | <b>19</b> Aislamiento con cubierta protectora              |
| <b>4</b> Válvula de cierre de tubo manostática, sin mantenimiento             | <b>20</b> Bastidor de base                                 |
| <b>5</b> Limitador de presión   | <b>21</b> Módulo de regulación de gas                      |
| <b>6</b> Transmisor de presión (4-20 mA)                                      | <b>22</b> Caja de bornes                                   |
| <b>7</b> Electrodo limitador de nivel bajo                                    | <b>23</b> Módulo de bombeo                                 |
| <b>8</b> Manómetro  | <b>24</b> Válvula de cierre de drenaje, sin mantenimiento  |
| <b>9</b> Transmisor de nivel (4-20 mA)  | <b>25</b> Válvula de purga de fondo de cierre rápido       |
| <b>10</b> Válvula de cierre del manómetro con función de comprobación         | <b>26</b> Boca de inspección, lado vapor                   |
| <b>11</b> Secador de vapor  | <b>27</b> Boca de inspección, lado del agua                |
| <b>12</b> Válvula de extracción de vapor                                      | <b>28</b> Boca de inspección, lado de los gases combustión |
| <b>13</b> Válvula de seguridad de elevación total                             | <b>30</b> Cámara de recogida de gases de combustión        |
| <b>14</b> Medición de conductividad totalmente automática y purga superficial | <b>31</b> Perfiles guía de circulación de agua             |
| <b>15</b> Válvula antirretorno de agua de alimentación                        | <b>32</b> Intercambiador de gases de combustión ECO        |
| <b>16</b> Válvula de corte de agua de alimentación, sin mantenimiento         | <b>33</b> Tubería de conexión ECO/caldera                  |
|   | <b>34</b> Válvula de cierre de ventilación ECO             |
|   | <b>35</b> Válvula de cierre de vaciado ECO (vaciado)       |



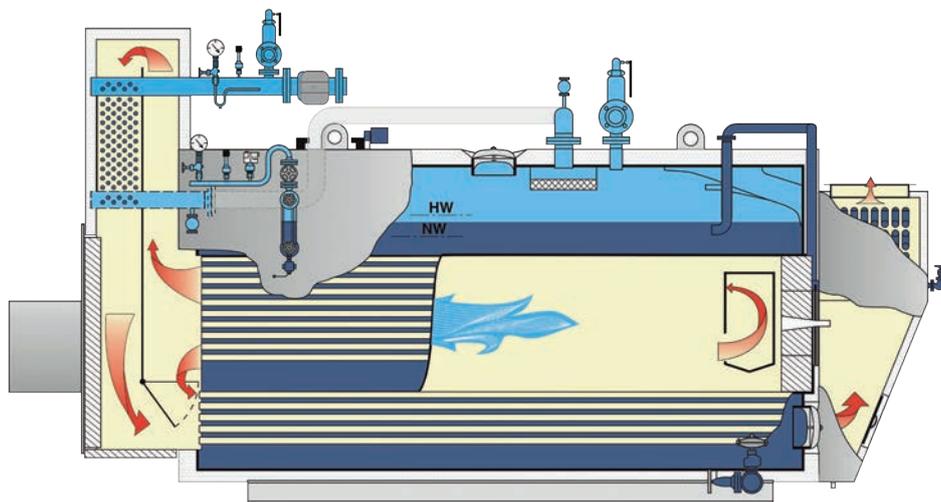
## 2.5 Módulo sobrecalentador

Calderas monotubo y bitubo de tubos de humo/llama para la generación de vapor sobrecalentado.

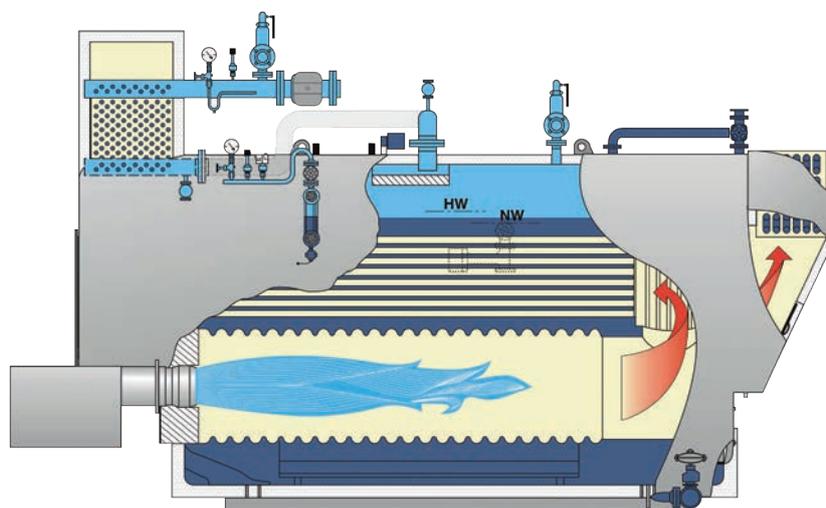
Si se necesita vapor sobrecalentado en lugar de vapor saturado, se puede colocar un módulo de sobrecalentador en la cámara de inversión frontal. Una compuerta de derivación controla la temperatura del vapor sobrecalentado en un amplio rango de carga. Las zonas de los tubos de humos siguen siendo fácilmente accesibles gracias a la puerta abatible de la cámara de inversión.

- Sistema modular, controlado en el lado de los gases de combustión - no se necesita agua de inyección para controlar la temperatura del vapor sobrecalentado
- Fácil mantenimiento e instalación - posibilidad de limpieza sencilla del 2º y 3er paso de la caldera
- Larga vida útil gracias a la baja carga térmica del haz intercambiador de calor del sobrecalentador

→ Informe técnico FB020: Calderas de vapor con módulo de sobrecalentamiento



**Fig. 187** Vista en sección UL-SX



**Fig. 188** Vista en sección ZFR-X



**Fig. 189** Caldera pirotubular con módulo de sobrecalentamiento



Resumen de productos

Calderas de vapor

**Recuperación de calor**

Módulos para calderas de vapor

Módulos de alimentación

Controles del sistema

## 3 Calderas de recuperación de calor y recuperación de calor residual

### 3.1 Caldera de vapor de recuperación de calor UNIVERSAL HRSB

La caldera de recuperación de calor utiliza el calor de los gases de combustión para generar vapor de proceso.



**Fig. 190** Caldera de vapor con recuperación de calor UNIVERSAL Sistema HRSB

Datos técnicos	Modelo HRSB
Medio de transferencia de calor	Vapor saturado de alta presión
Diseño	Caldera pirotubular de recuperación de calor
Producción en kg/h	400 a 4.100
Presión de seguridad en bar	10 a 16
Temperatura máx. de los gases de combustión de la fuente de calor residual en °C	550
Volumen mín. de gases de combustión de la fuente de calor residual en kg/h	500
Volumen máx. de gases de combustión de la fuente de calor residual en kg/h	23,500
Combustible de la fuente de calor residual	Gas natural (otros tipos de gases de combustión)
Rango de producción de las unidades combinadas de calor y electricidad combinables en MWeI	a petición)
	Aprox. 0.5 a 4

Utilizada en combinación con una unidad de producción combinada de calor y electricidad, la caldera de vapor con recuperación de calor HRSB puede desempeñar un papel importante en la utilización eficiente de la energía primaria. Los gases de combustión calientes procedentes de los procesos de combustión anteriores se envían a la caldera de recuperación de calor y se utilizan para generar vapor. Gracias a su diseño modular y sus dimensiones compactas, es la opción ideal tanto para plantas nuevas como para proyectos de modernización.

### **Construcción**

La caldera de vapor con recuperación de calor, certificada conforme a la Directiva sobre equipos a presión (PED), está disponible en ocho versiones normalizadas. Consta de un intercambiador de calor tubular de alta eficiencia, cuya eficiencia puede aumentarse aún más utilizando un economizador integrado opcional. Además, ofrecemos un bypass de gases de combustión. Si no se extrae vapor, la caldera lo utilizará para desviarlos por el lado de los gases de combustión. Esto significa que la unidad combinada de calor y electricidad u otras fuentes de calor residual pueden seguir funcionando sin interrupción.

### **Equipamiento**

La caldera de vapor con recuperación de calor está aislada y dispone de los equipos de seguridad más modernos. El bypass de gases de combustión se suministra por separado para facilitar el transporte y se instala y aísla in situ. El control de la caldera BCO, basado en PLC, puede controlarse mediante pantalla táctil y se aloja en un armario de distribución de control independiente de pie o montado en la pared.

### **Resumen de ventajas**

- Aumento de la eficiencia y responsabilidad medioambiental mediante el uso de fuentes de calor residual
- Alta fiabilidad de suministro gracias a la combustión propia
- Alta eficiencia gracias al eficaz intercambiador de calor tubular y al buen aislamiento térmico
- Aumento adicional de la eficiencia gracias al economizador integrado opcional
- Sistema modular adaptado para una planificación sencilla y una instalación rápida
- Sistema completo con unidad de cogeneración bajo pedido
- Control intuitivo de la caldera basado en PLC con excelente transparencia de los datos de funcionamiento
- Puesta en marcha sin problemas gracias al control de caldera preparametrizado
- Cableado in situ simplificado gracias a las conexiones enchufables
- Robusto, fiable y duradero
- Reducción de la diversidad de componentes con respecto al inventario de piezas de repuesto
- Servicio de un solo proveedor



Resumen de productos

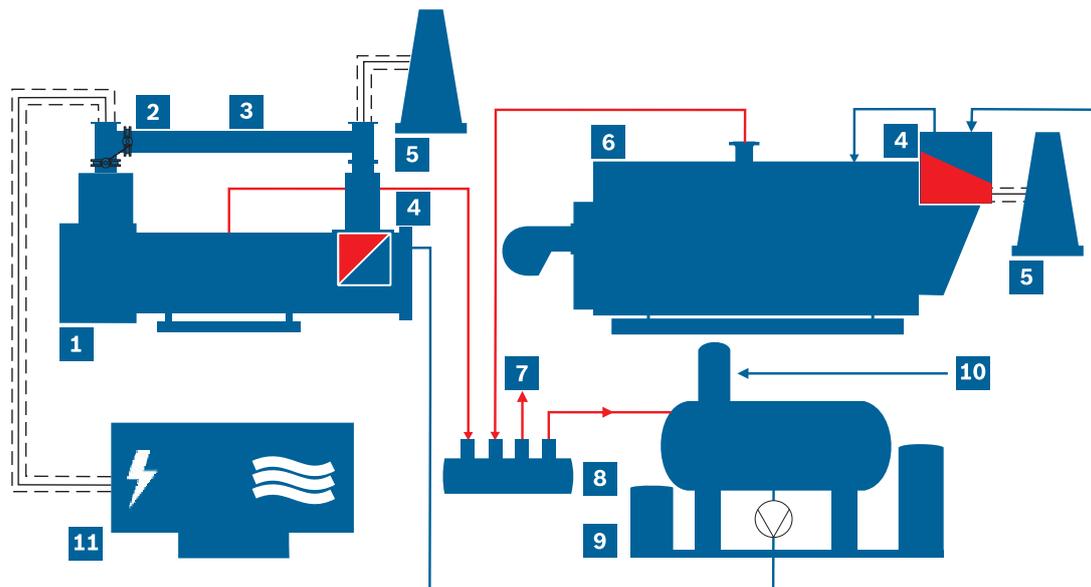
Calderas de vapor

**Recuperación de calor**

Módulos para calderas de vapor

Módulos de alimentación

Controles del sistema



**Fig. 191** Diagrama de funcionamiento de la caldera de vapor con recuperación de calor UNIVERSAL HRSB (representación muy simplificada)

- |   |  |
|---|--|
| <b>1</b> Caldera de recuperación de calor | <b>7</b> Consumidores                              |
| <b>2</b> Compuertas de bypass             | <b>8</b> Distribuidor                              |
| <b>3</b> Bypass de gases de combustión    | <b>9</b> Módulo de servicio de agua WSM-V          |
| <b>4</b> Economizador                     | <b>10</b> Agua de reposición                       |
| <b>5</b> Chimenea                         | <b>11</b> Unidad combinada de calor y electricidad |
| <b>6</b> Caldera de vapor de carga máxima |  |

**Serie UL-S como caldera de recuperación de calor de 3 pasos**

- La serie UL-S también puede utilizarse como caldera de recuperación de calor puro
- Para uso con altas temperaturas de gases de combustión
- Para su uso en combinación con unidades combinadas de calor y electricidad o turbinas de gas
- Aprovechamiento del calor residual para generar vapor



**Fig. 192** Vista frontal de la caldera de recuperación de calor de 3 pasos sin quemador

### 3.2 Caldera de 4 pasos con quemador

La caldera de combustión convencional genera calor de proceso al tiempo que aprovecha el potencial calorífico de las fuentes de calor residual.



Fig. 193 Caldera de 4 pasos con quemador

Datos técnicos	Caldera de 4 pasos, modelo UL-S
Medio de transferencia de calor	Vapor saturado de alta presión
Diseño	Caldera de tubos de humo/llama de 3 pasos con 4º paso de tubos de humo integrado
Producción en kg/h	700 a 28.000
Presión de seguridad en bar	Hasta 30
Temperatura máx. de los gases de combustión de la fuente de calor residual en °C	550
Volumen mín. de gases de combustión de la fuente de calor residual en kg/h	500
Volumen máx. de gases de combustión de la fuente de calor residual en kg/h	23,500
Combustible de la fuente de calor residual	Gas natural (otros tipos de gases de combustión bajo pedido)
Rango de producción de las unidades combinadas de calor y electricidad combinables en MWel	Aprox. 0.2 a 4
Combustible de la caldera	Combustión de gas, aceite y multicomcombustible

Estas calderas de vapor son calderas de combustión convencional basadas en el diseño de 3 pasos, con un paso adicional integrado en el tubo de humos para la utilización del calor residual. Se utilizan en combinación con unidades de cogeneración o turbinas de gas. El cuarto paso utiliza los gases de combustión calientes de los procesos de combustión anteriores para generar calor de proceso. Si se utilizan calderas de recuperación de calor sin sistema de combustión adicional, suelen ser necesarias calderas de carga punta adicionales. Esto suele ser superfluo cuando se utiliza la variante de diseño con



Resumen de productos

Calderas de vapor

**Recuperación de calor**

Módulos para calderas de vapor

Módulos de alimentación

Controles del sistema

combustión propia. Además, se reduce la necesidad de intercambiadores de calor en el sistema de gases de combustión de la unidad de cogeneración. El operador de la planta se beneficia de unos costes de inversión más bajos, menos requisitos de espacio y una menor complejidad de los equipos.

**Construcción**

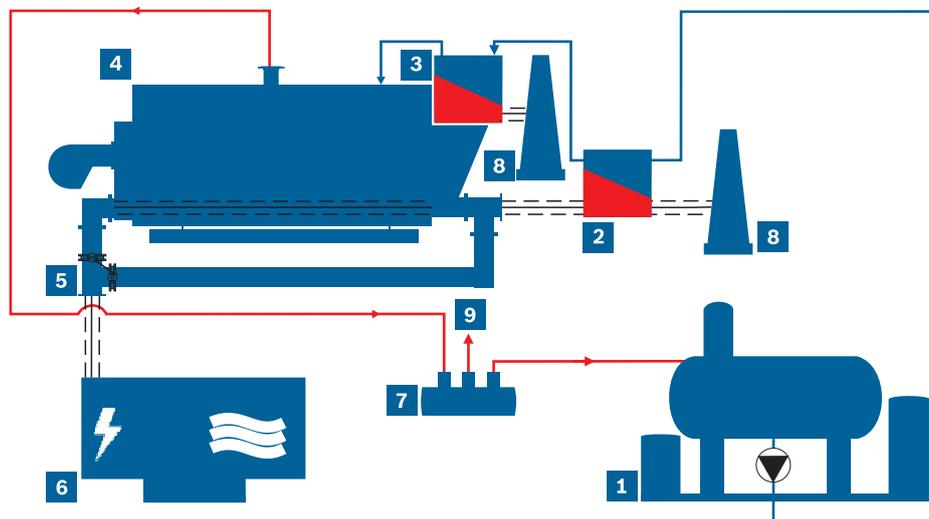
El diseño de nuestras calderas de recuperación de calor con quemador corresponde al diseño básico de la serie UL-S. Las calderas están equipadas con un paso de humos adicional integrado (4º paso) para el aprovechamiento del calor residual.

**Equipamiento**

Las opciones son idénticas a las disponibles para la caldera de vapor UNIVERSAL serie UL-S.

**Resumen de ventajas**

- Aumento de la eficiencia y responsabilidad medioambiental mediante el uso de fuentes de calor residual junto con alta fiabilidad de suministro gracias a la cocción propia
- Sistema modular adaptado para una planificación sencilla y una instalación rápida
- Sistema completo con unidad de producción combinada de calor y electricidad, y control intuitivo del sistema, basado en PLC con transparencia de los datos de funcionamiento disponible bajo pedido
- Puesta en marcha sin problemas gracias al control de caldera preparametrizado
- Cableado in situ simplificado gracias a las conexiones enchufables
- Robusto, fiable y duradero, y servicio de un solo proveedor
- Reducción de la diversidad de componentes con respecto al inventario de piezas de repuesto

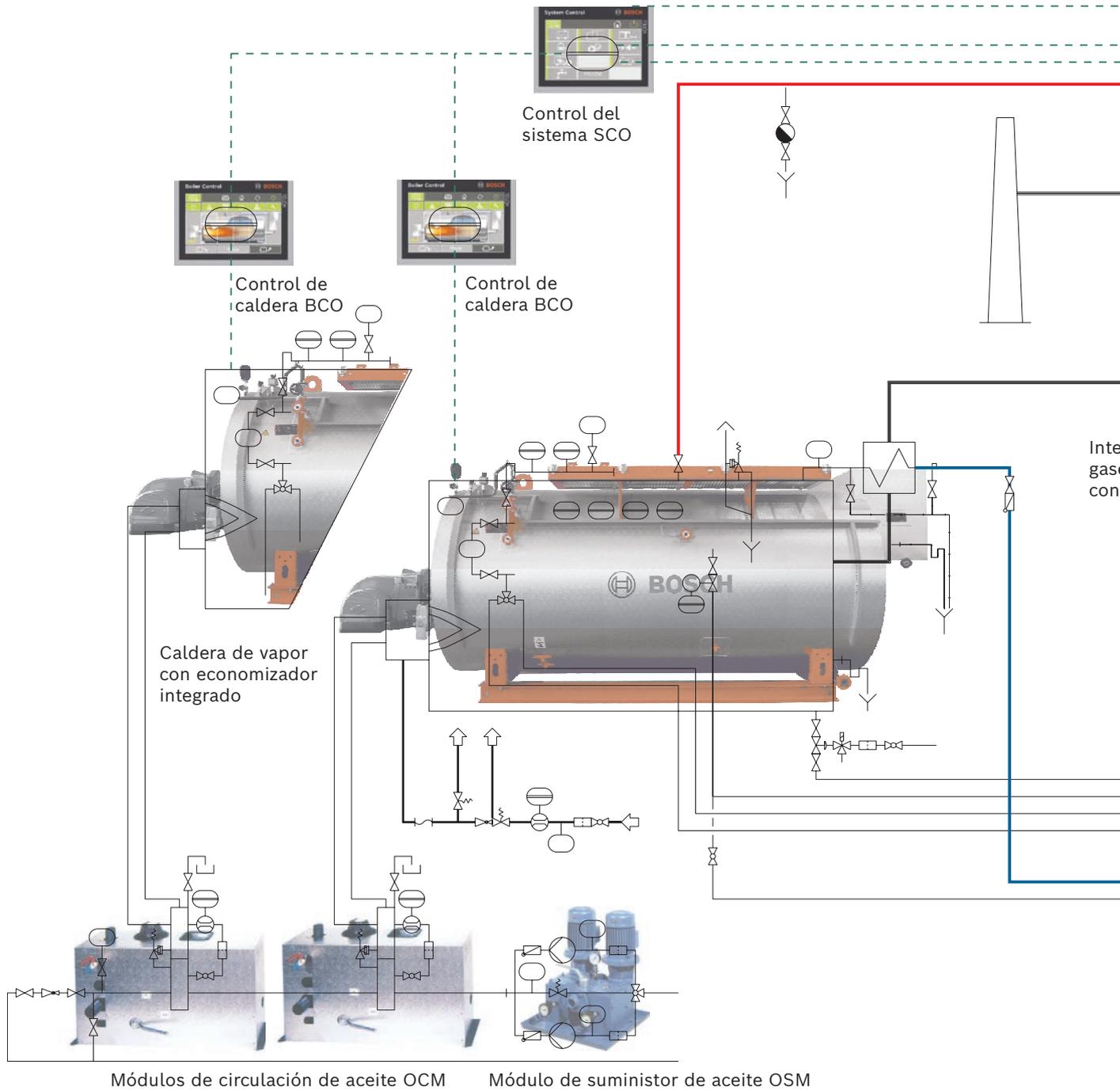


**Fig. 194** Esquema de funcionamiento de una caldera de 4 pasos con quemador (representación muy simplificada)

- |   |   |
|---|---|
| <b>1</b> Módulo de servicio de agua WSM-V               | <b>5</b> Bypass de gases de combustión            |
| <b>2</b> Intercambiador de calor de gases de combustión | <b>6</b> Unidad combinada de calor y electricidad |
| <b>3</b> Economizador                                   | <b>7</b> Distribuidor                             |
| <b>4</b> Caldera de vapor de 4 pasos                    | <b>8</b> Chimenea                                 |
|   | <b>9</b> Consumidor                               |

### 3.3 Tecnología de sistemas de ahorro de energía

Los sistemas de calderas de alta eficiencia con componentes de sala de calderas óptimamente adaptados garantizan un bajo consumo de energía y bajas emisiones.



**Fig. 195** Diagrama de funcionamiento de los componentes del cuarto de calderas



Resumen de productos

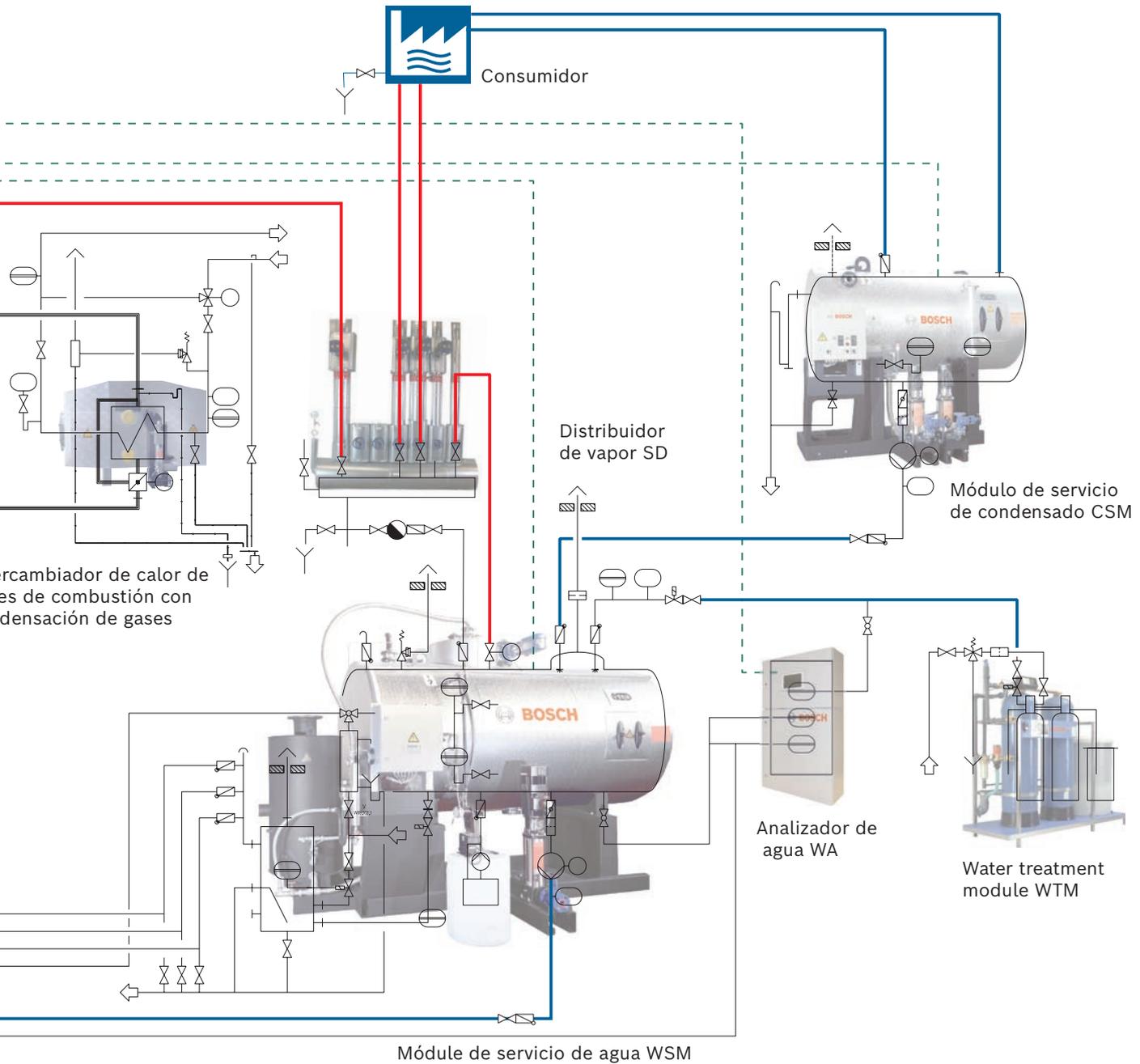
Calderas de vapor

**Recuperación de calor**

Módulos para calderas de vapor

Módulos de alimentación

Controles del sistema





Dampf

BOSS



Resumen de productos

Calderas de vapor

Recuperación de calor

**Módulos para calderas de vapor**

Módulos de alimentación

Controles del sistema

## 4 Módulos para calderas de vapor

Nuestros módulos para calderas de vapor le permiten equipar su instalación según sus necesidades. Garantizan la máxima seguridad de funcionamiento, una larga vida útil y un alto grado de eficiencia en las condiciones de funcionamiento específicas.

### 4.1 Módulo de servicio de agua WSM

El módulo de servicio de agua suministra a las calderas de vapor agua de alimentación desgasificada y acondicionada químicamente y evacua el agua de purga de superficie y de fondo.

- Alimentación y almacenamiento de condensado y agua de reposición
- Desaireación parcial térmica del agua de alimentación con WSM-T
- Desaireación térmica total del agua de alimentación con WSM-V
- Acondicionamiento químico del agua de alimentación
- Expansión y refrigeración del agua de purga de superficie y de fondo
- Refrigeración de las muestras de agua
- Control PLC y visualización de
  - nivel de agua en el depósito
  - temperatura del agua de alimentación para el WSM-T
  - presión del depósito para el WSM-V
  - Temperatura de purga
- Control para la dosificación de productos químicos
- Módulo de bomba de alimentación con protección contra funcionamiento en seco
- Protección contra desbordamiento



**Fig. 196** Módulo de servicio de agua WSM-V para la desgasificación completa de todas las calderas de vapor con potencias de 2.000 a aprox. 100.000 kg/h

### Construcción

Todos los componentes están canalizados, aislados térmicamente y cableados eléctricamente en una unidad de montaje multifuncional. No son necesarias complejas construcciones de andamiaje: el módulo compacto está montado sobre un dispositivo de soporte estable y diseñado para instalarse a ras de suelo. Todas las funciones están asistidas por ordenador y se controlan automáticamente mediante un controlador lógico programable con panel táctil.

### Equipamiento

El módulo consta del depósito de agua de alimentación calentado por vapor, el dosificador de productos químicos, el vaso de expansión de la purga, un enfriador de muestras de agua y los accesorios asociados, así como el armario de control. Existen otros componentes opcionales, como una instalación de recuperación de calor para el agua de purga superficial, un segundo dosificador de productos químicos o módulos de bomba de alimentación. En el depósito de agua de alimentación del WSM-V se monta un purgador por pulverización o por goteo.

### Resumen de ventajas

- Planificación, instalación y aceptación rápidas y sencillas
- Sin necesidad de cabeza de aspiración positiva, instalación a ras de suelo
- Listo para funcionar con unas pocas conexiones
- Puesta en marcha, mantenimiento y funcionamiento sencillos
- Unidad de garantía completa
- Suministro fiable de piezas de repuesto
- Fácil transporte y traslado
- Alta eficacia de desgasificación con WSM-T
- Excelente eficacia de desgasificación con WSM-V
- Consumo reducido de productos químicos con WSM-V



**Fig. 197** Módulo de servicio de agua WSM-T para desaireación parcial para todas las calderas de vapor con potencias de hasta 8.000 kg/h

[Resumen de productos](#)[Calderas de vapor](#)[Recuperación de calor](#)**Módulos para calderas de vapor**[Módulos de alimentación](#)[Controles del sistema](#)

## 4.2 Distribuidor de vapor SD

En el distribuidor, el flujo másico de vapor generado se distribuye a los consumidores y la humedad residual se separa y drena.

### Construcción

Una tubería colectora con un número de salidas de tubo en función del pedido se monta completamente con conexiones de brida y todos los accesorios necesarios en una unidad modular.

### Equipamiento

Los distribuidores están equipados con indicadores de presión, válvulas de cierre, antirretorno y purga de condensados y se entregarán aislados térmicamente.

### Resumen de ventajas

- Reducción de las pérdidas en la red gracias a la distribución centralizada para sistemas con estructuras de consumo complejas
- Ahorro gracias a la explotación y el mantenimiento centralizados



**Fig. 198** Distribuidor de vapor SD en el sistema existente

### 4.3 Módulo acumulador de vapor SAM

El módulo se utiliza para almacenar un contenido energético definido que está disponible como vapor de expansión durante la reducción de presión. El ámbito de aplicación es la cobertura de picos de carga, por ejemplo, si se supera brevemente la capacidad de un generador de vapor. Cuanto mayor sea el contenido de agua del acumulador, mayor será el calor de reevaporación. El acumulador de vapor se llena al 50% con agua y se calienta con vapor hasta la presión de carga. El acumulador se descarga abriendo los dispositivos de cierre del lado del consumidor. Siempre se introduce en el acumulador exactamente la misma cantidad de vapor que se extrajo anteriormente. Esto significa que, por lo general, no es necesario suministrar agua de alimentación adicional al acumulador de vapor durante el funcionamiento. Para evitar que aumente el nivel de agua, se ha previsto un purgador de condensados de flotador.

#### Construcción

El acumulador de vapor consiste en un depósito cilíndrico horizontal con un tubo de boquilla de vapor incorporado.

#### Equipamiento

El módulo está aislado térmicamente y se entrega con el equipo montado y listo para funcionar. El módulo está equipado con válvulas de ventilación, cierre de desagüe, cierre de llenado, válvulas de entrada y salida de vapor, protección contra desbordamiento y sobrepresión, un indicador directo de temperatura, así como un indicador del nivel de agua.

#### Resumen de ventajas

- Equilibrio de breves picos de carga
- Reducción del arrastre de agua y sus efectos negativos
- Reducción de la frecuencia de conmutación de los generadores de vapor
- Reducción del consumo de energía y del desgaste



**Fig. 199** Módulo acumulador de vapor SAM



Resumen de productos

Calderas de vapor

Recuperación de calor

**Módulos para calderas de vapor**

Módulos de alimentación

Controles del sistema

## 4.4 Módulo de servicio de condensados CSM, planta de alta presión de condensados CHP

El condensado de los consumidores de vapor se canaliza, recoge y almacena temporalmente en el módulo de servicio de condensado. Una bomba de condensados bombea el condensado de nuevo a la planta de desaireación de agua de alimentación si surge la correspondiente necesidad de agua. Los módulos de servicio de condensado sin presión suelen instalarse cerca del consumidor.

La planta de alta presión de condensado mantiene el condensado a la presión y temperatura necesarias para evitar o reducir significativamente las pérdidas de vapor de expansión. El condensado se alimenta directamente a la caldera de vapor a través de la bomba de condensado cuando es necesario. No es necesaria una desgasificación adicional del condensado de alta presión. Las plantas de alta presión de condensado deben utilizarse siempre que la descarga en el depósito de agua de alimentación o en módulos de servicio de condensado no presurizados vaya acompañada de elevadas pérdidas de vapor de expansión debido a los parámetros del condensado.

### Construcción

Todos los componentes están canalizados, aislados térmicamente y cableados eléctricamente en una unidad de montaje multifuncional. El módulo de servicio de condensado sin presión está montado sobre un dispositivo de soporte estable y diseñado para instalarse a nivel del suelo. La planta de alta presión de condensado está preparada para su instalación a cielo abierto y necesita una altura de aspiración positiva de al menos 1.5 metros. Todas las funciones están asistidas por ordenador y se controlan automáticamente con un controlador lógico programable.

### Equipamiento

El sistema consta de los componentes depósito de condensados, módulo de bomba de condensados, armario de control y accesorios del equipo. Las tuberías y el aislamiento térmico del sistema están preinstalados de fábrica.

### Resumen de ventajas

- Decrease in energy and water consumption by reducing make-up water quantities
- Minimisation of expansion steam losses, surface and bottom blowdown quantities, less chemical consumption and reduced corrosion potential in the steam condensate system when using condensate high-pressure plants



**Fig. 200** El módulo de servicio de condensado no presurizado recoge los flujos de condensado y los canaliza de vuelta al circuito de agua/vapor a través del sistema de desaireación



**Fig. 201** La planta de alta presión de condensados permite reducir drásticamente el consumo de combustible, las necesidades de agua de reposición y el uso de dosificadores químicos para el tratamiento del agua.



Resumen de productos

Calderas de vapor

Recuperación de calor

**Módulos para calderas de vapor**

Módulos de alimentación

Controles del sistema

## 4.5 Módulo de purga, expansión y refrigeración BEM

La finalidad del módulo de purga, expansión y refrigeración es la admisión de todas las aguas residuales calientes de un sistema de caldera de vapor. Estas aguas residuales se recogen, se expanden y se enfrían en el módulo hasta alcanzar la temperatura de descarga permitida y establecida. El módulo está diseñado para sistemas de varias calderas con un máximo de tres calderas de vapor.

### Construcción

Contenedor vertical cerrado montado sobre una estructura de soporte, con varias conexiones de alimentación y drenaje. La mitad inferior del módulo se llena de agua durante el funcionamiento, la mitad superior es espacio de expansión. La temperatura predominante del medio se registra y se convierte en una señal eléctrica con el transductor de medición de temperatura situado en la parte inferior del módulo. La refrigeración mixta se consigue mediante el suministro de agua de reposición fría y ablandada, y el agua residual se evacua de forma segura cuando se alcanza la temperatura de descarga permitida. La temperatura de descarga puede controlarse mediante el sistema de control del módulo de servicio de agua.

### Equipamiento

El módulo consta de un cilindro vertical sellado con placas en ambos extremos y protección integral contra el contacto. Se ofrece aislado térmicamente y totalmente montado de fábrica con todos los accesorios necesarios.

### Resumen de ventajas

- Montaje rápido y sencillo, listo para su funcionamiento inmediato con pocas conexiones
- Cumplimiento exacto de las directrices oficiales gracias al modo de funcionamiento automático



**Fig. 202** Módulo de purga, expansión y refrigeración BEM

## 4.6 Módulo de expansión y recuperación de calor EHM

El módulo recupera una parte sustancial de la cantidad de calor contenida en el agua caliente (agua de purga superficial/condensada) de un sistema de caldera. El agua presurizada se expande en el depósito de expansión. El vapor de expansión así producido contribuye al calentamiento del depósito de agua de alimentación. El agua de reposición del sistema de calderas se precalienta en el intercambiador de calor posterior y el agua de purga superficial/condensada se enfría a una temperatura de unos 35 °C.

### Construcción

El módulo consta de un depósito de expansión, un intercambiador de calor integrado para la recuperación del calor, la estructura de soporte y el equipo necesario.

### Equipamiento

El módulo se ofrece aislado térmicamente y totalmente montado de fábrica con todos los accesorios necesarios.

### Resumen de ventajas

- Montaje rápido y sencillo, listo para funcionar de inmediato con pocas conexiones
- Aumento de la eficiencia del sistema
- Reducción de los costes de combustible, agua de refrigeración y aguas residuales



**Fig. 203** Módulo de expansión y recuperación de calor EHM



Resumen de productos

Calderas de vapor

Recuperación de calor

**Módulos para calderas de vapor**

Módulos de alimentación

Controles del sistema

## 4.7 Módulo de expansión, recuperación de calor y purga EHB

El módulo comprende la combinación del módulo de expansión, recuperación de calor y purga EHM con el módulo de purga, expansión y refrigeración BEM. Su finalidad es, por tanto, la recuperación de la energía térmica contenida en el agua caliente (agua de purga superficial/condensada) y la descarga de aguas residuales teniendo en cuenta la temperatura de descarga permitida.

### Construcción

El módulo consta de un depósito de expansión, así como de un depósito de aguas residuales y de refrigeración. Para la recuperación de calor se integra un intercambiador de calor con los accesorios asociados.

### Equipamiento

Dos cilindros uno encima del otro sellados con placas en ambos extremos, una estación colectora, todos los accesorios necesarios, las tuberías internas y el aislamiento térmico están incluidos en el volumen de suministro y se ofrecen de fábrica completamente montados.

### Resumen de ventajas

- Montaje rápido y sencillo, listo para su funcionamiento inmediato con pocas conexiones
- Cumplimiento exacto de las directrices oficiales gracias al modo de funcionamiento automático
- Aumento de la eficiencia del sistema
- Reducción de los costes de combustible, agua de refrigeración y aguas residuales



**Fig. 204** Módulo de expansión, recuperación de calor y purga EHB

## 4.8 Refrigerador de vapor VC

Debido a su principio de funcionamiento, los sistemas térmicos de desaireación total producen vapores de escape. Sin un refrigerador de vapores, los vapores de escape se liberarían al aire libre sin ser utilizados. Sin embargo, en el refrigerador de vapores, el vapor de escape se condensa mediante un intercambiador de calor. La energía térmica acumulada durante el enfriamiento del vapor de escape se utiliza para calentar el agua de reposición.

### Construcción

Intercambiador de calor de placas con conexiones roscadas, las piezas húmedas son de acero inoxidable.

### Equipamiento

El módulo comprende un intercambiador de calor con los accesorios asociados.

### Resumen de ventajas

- Recuperación de calor y, por tanto, mejora de la eficiencia
- Energía utilizable para calefacción adicional o para transferirla a un circuito de agua separado



Fig. 205 Refrigerador de vapor VC

## 4.9 Módulo de bombeo PM

El módulo se utiliza para bombear el agua de alimentación del depósito de agua de alimentación a la caldera pirotubular o para bombear el condensado del depósito de condensado a la planta de desgasificación. Opcionalmente, el módulo de bombeo puede equiparse con un motor con convertidor de frecuencia para el control continuo de la cantidad de agua en función de la demanda.

### Construcción

Las bombas suministradas son bombas centrífugas verticales multietapa de alta presión con motor totalmente cerrado y refrigerado por ventilador. Están especialmente diseñadas para su uso en calderas pirotubulares.

### Equipamiento

El módulo de bombeo se entrega totalmente montado de fábrica en una consola con indicador de presión, válvulas de cierre, filtro y antirretorno.

### Resumen de ventajas

- Premontado para una instalación rápida
- Versión con control de velocidad para aumentar la eficiencia del intercambiador de calor de gases
- Reducción del consumo de energía y aumento de la comodidad de uso



Fig. 206 Módulo de bombeo PM



Resumen de productos

Calderas de vapor

Recuperación de calor

**Módulos para calderas de vapor**

Módulos de alimentación

Controles del sistema

## 4.10 Módulo de regulación del agua de alimentación RM

Si no se dispone de una bomba de alimentación de velocidad regulada, se recomienda como alternativa la regulación continua con el módulo de regulación del agua de alimentación RM para todas las calderas equipadas con quemadores modulantes e intercambiadores de calor de gases de combustión. El módulo garantiza tiempos de paso más largos del intercambiador de calor de gases de combustión y, por tanto, una recuperación óptima del calor de los gases de combustión de la caldera. Al mismo tiempo, también garantiza la cantidad mínima necesaria para la refrigeración de la bomba de alimentación a través del módulo de control del agua de alimentación.



Fig. 207 Feed water regulation module RM

El módulo premontado se utiliza en un lugar adecuado de la tubería de presión del agua de alimentación. Se conecta como control del caudal de alimentación.

### Equipamiento

El módulo de regulación del agua de alimentación para el control continuo consta de una válvula de regulación del agua de alimentación, un dispositivo de descarga, un dispositivo de retención de suciedad y dos válvulas de cierre, así como un dispositivo de derivación.

### Resumen de ventajas

- Mayor eficiencia del intercambiador de calor de gases de combustión
- Reducción del número de operaciones de conmutación de bombas
- Nivel constante del agua de la caldera
- Caudal mínimo seguro para la refrigeración de la bomba de alimentación

## 4.11 Intercambiador de calor de gases de combustión ECO autónomo

El intercambiador de calor de gases de combustión está diseñado para ahorrar energía reduciendo la temperatura de los gases de combustión mediante el calentamiento del agua de retorno de la red.

Los gases de combustión contienen un importante potencial calorífico a alta temperatura. Los módulos economizadores, con sus superficies de recuperación de calor altamente eficientes, utilizan este potencial de calor y aumentan así significativamente la eficiencia de las calderas de vapor nuevas o existentes. El intercambiador de calor de gases de combustión se instala a continuación de la caldera y se utiliza en funcionamiento "en seco" para calentar el agua de alimentación. Para utilizar el calor de condensación, la condensación de los gases de combustión puede tener lugar en un módulo adicional de intercambiador de calor de gases de combustión situado aguas abajo y el agua de reposición puede calentarse. La instalación posterior en sistemas existentes de calderas de vapor monotubo de llama puede realizarse muy fácilmente mediante estos módulos.

### Construcción

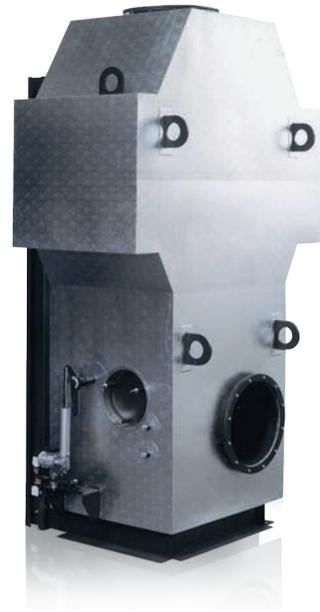
En la parte inferior, los gases de combustión se recogen y fluyen a través del intercambiador de calor integrado en la parte superior para la recuperación de calor.

### Equipamiento

El módulo está montado sobre un bastidor de base estable y dispone de raíles en la parte trasera para su transporte. El actuador, las tuberías de las conexiones, el control de los gases de combustión y las válvulas de cierre del desagüe están totalmente montados y se incluyen completos con aislamiento térmico en el volumen de suministro franco fábrica.

### Resumen de ventajas

- Mayor eficiencia de la caldera
- Reducción del consumo de combustible
- Se adapta fácilmente a los sistemas existentes



**Fig. 208** Intercambiador de calor de gases de combustión ECO autónomo



Resumen de productos

Calderas de vapor

Recuperación de calor

**Módulos para calderas de vapor**

Módulos de alimentación

Controles del sistema

## 4.12 Intercambiador de calor autónomo con condensación de gases de combustión

Gracias a la tecnología de condensación, este intercambiador de calor de gases de combustión recupera energía del calor residual de los gases de combustión de la caldera.

El modo de funcionamiento es el mismo que el de un economizador normal. El intercambiador de calor de gases de combustión recupera el calor de los gases de combustión calientes de la caldera, mientras que el agua fría fluye por los tubos del intercambiador de calor y reduce la temperatura de los gases de combustión. La energía obtenida mediante la condensación de los gases de combustión proporciona un mayor nivel de eficiencia de la caldera y, por tanto, reduce el consumo de combustible y las emisiones de gases de combustión.

### Construcción

Intercambiador de calor de acero inoxidable de construcción soldada para instalación aguas abajo de la caldera, con piezas de conexión para entrada de agua, salida de agua y drenaje, e incluyendo aberturas de inspección en el lado de los gases de combustión. En el modelo con bypass, los gases de combustión calientes se controlan mediante compuertas de regulación.

### Equipamiento

El módulo está totalmente equipado con orejetas de elevación y patas, así como con una válvula de control de gases de combustión y aislamiento térmico.

### Resumen de ventajas

- Mejora del índice de utilización
- Ahorro de combustible
- Fácil adaptación a los sistemas existentes
- Puede utilizarse tanto con sistemas de vapor como de agua caliente



**Fig. 209** Intercambiador de calor autónomo con condensación de gases de combustión

### 4.13 Sistema de precalentamiento del aire APH

Mediante este sistema se precalienta el aire de combustión y se reduce la temperatura de los gases de combustión. El rendimiento aumenta. Cuando se instala un nuevo sistema de caldera de vapor con economizador, el precalentamiento del aire es la solución ideal para aumentar el rendimiento, sobre todo en los casos en los que la integración de un condensador de gases de combustión no es práctica por motivos de proceso. El sistema de precalentamiento de aire de Bosch está disponible para calderas de uno o dos tubos de humo con quemadores duobloque. El sistema es económicamente viable a partir de una potencia de caldera de unas cinco toneladas de vapor por hora. El ventilador puede instalarse en la parte superior de la caldera, lo que significa que el sistema compacto requiere poco espacio para su instalación. El retorno de la inversión (ROI) suele alcanzarse al cabo de 1.5 a 2 años.

#### Construcción

En el sistema Bosch, una parte del flujo de agua de alimentación calentada se utiliza para aumentar la temperatura del aire de combustión. El agua de alimentación enfriada de esta manera aumenta la eficiencia reduciendo aún más la temperatura de los gases de combustión en el intercambiador de calor de gases de combustión combinado situado a continuación.

#### Equipamiento

El sistema de precalentamiento del aire consta de una válvula de tres vías, un intercambiador de calor de gases de combustión combinado y un intercambiador de calor del lado del aire. En comparación con los sistemas convencionales de dos circuitos, ahora es posible prescindir de la bomba de circulación, el depósito de expansión y diversos sistemas electrónicos de seguridad y control. Esto reduce no sólo los costes de inversión, sino también los costes recurrentes de mantenimiento y piezas de repuesto.



**Fig. 210** Air preheating system APH at a boiler



Resumen de productos

Calderas de vapor

Recuperación de calor

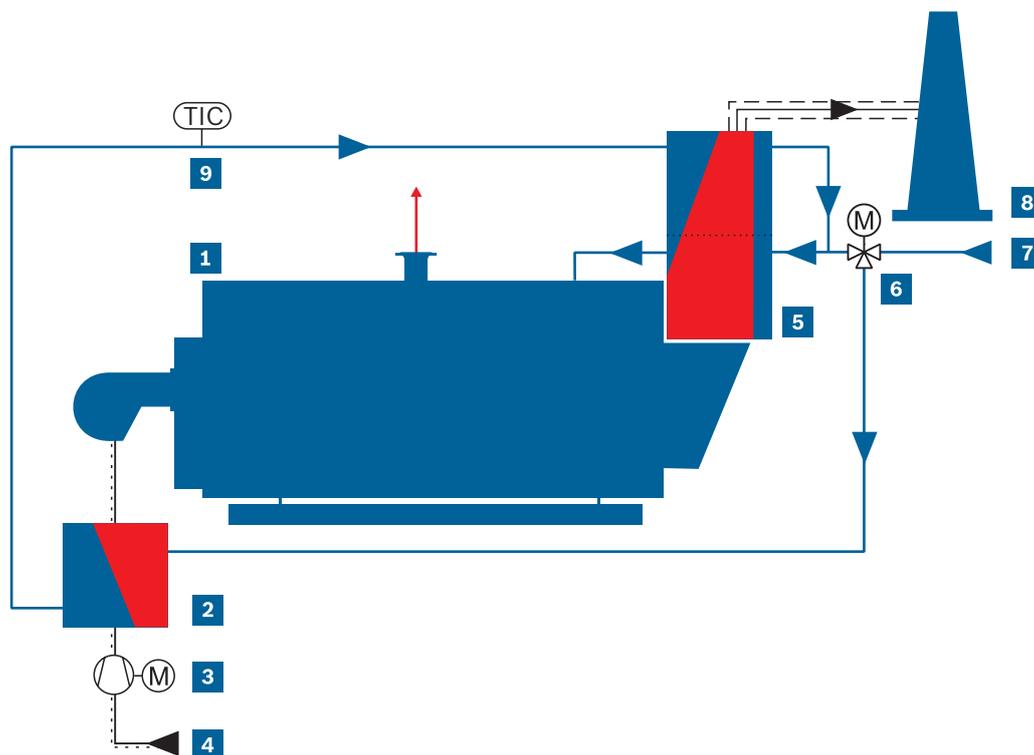
**Módulos para calderas de vapor**

Módulos de alimentación

Controles del sistema

### Resumen de ventajas

- Mayor eficiencia del sistema
- Reducción del consumo de combustible
- Reducción de las emisiones
- Menores costes de inversión en comparación con las soluciones convencionales
- Bajos costes de mantenimiento y revisión
- Menor tiempo de amortización
- Sistema estandarizado de calidad superior de Bosch



**Fig. 211** Ilustración de un sistema de precalentamiento del aire en una caldera de vapor (representación muy simplificada)

- |   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| <b>1</b> Caldera de vapor                               | <b>6</b> Válvula de tres vías     |
| <b>2</b> Intercambiador de calor, aire de combustión    | <b>7</b> Agua de alimentación     |
| <b>3</b> Ventilador                                     | <b>8</b> Chimenea                 |
| <b>4</b> Aire de combustión                             | <b>9</b> Regulador de temperatura |
| <b>5</b> Intercambiador de calor de gases de combustión |                                   |

## 4.14 Módulo de refrigeración de agua de alimentación FWM

La temperatura de los gases de combustión es un criterio importante para evaluar la eficiencia de un sistema de caldera de vapor. Los sistemas más antiguos y pequeños suelen tener temperaturas de gases de combustión relativamente altas. Esto va acompañado de unos costes de combustible innecesariamente elevados. En las instalaciones con horas de funcionamiento medias y altas, el uso de soluciones técnicas para reducir las pérdidas de gases de combustión, como intercambiadores de calor de condensación o sistemas de precalentamiento del aire, se amortiza rápidamente. Sin embargo, este módulo es una alternativa rentable y reequipable para las instalaciones con menos horas de funcionamiento semanales:

- Calderas con recirculación de condensados baja o media
- Sistemas sin módulos de precalentamiento del agua de reposición
- Si hay demanda continua de agua caliente como edificios de oficinas o procesos industriales, o sistemas de calderas con economizadores pero sin intercambiadores de calor de condensación
- Calderas con pocas horas de funcionamiento (producción con funcionamiento a un solo turno)
- Calderas con potencias < 10 t/h

### Construcción

El agua de reposición fría se calienta en el módulo de refrigeración del agua de alimentación utilizando el agua de alimentación caliente en un intercambiador de calor. Como resultado del enfriamiento del agua de alimentación, hay una mayor diferencia de temperatura entre el agua y los gases de combustión en el economizador. La mejora de la transferencia de calor en el economizador reduce la temperatura de salida de los gases de combustión. De este modo, el rendimiento de combustión aumenta hasta un 1.8%. El control del módulo garantiza que las temperaturas y los caudales estén siempre dentro del rango permitido. Esto evita:

- Tensiones térmicas causadas por agua de alimentación demasiado fría que fluye hacia la caldera
- Corrosión causada por la condensación no deseada de los gases de combustión cuando se enfrían demasiado

El módulo de refrigeración del agua de alimentación es una medida eficaz y fiable para reducir los costes energéticos.

### Equipamiento

Este módulo consta de un intercambiador de calor de placas con aislamiento, válvulas, adaptadores de tuberías y sensores de temperatura, y se suministra sobre un bastidor base listo para su conexión. El dimensionamiento y la configuración de los parámetros del control se realizan bajo pedido y se adaptan al modo de funcionamiento del sistema.

### Resumen de ventajas

- Hasta un 1.8 % de ahorro en combustible
- Fácil adaptación a sistemas antiguos gracias a su tamaño y a la sencillez de las tuberías
- Control adaptado para un funcionamiento seguro de la caldera y los componentes
- Rápida amortización, incluso en sistemas con pocas horas de funcionamiento
- Listo para funcionar con unas pocas conexiones



**Fig. 212** Módulo de refrigeración de agua de alimentación FWM



Resumen de productos

Calderas de vapor

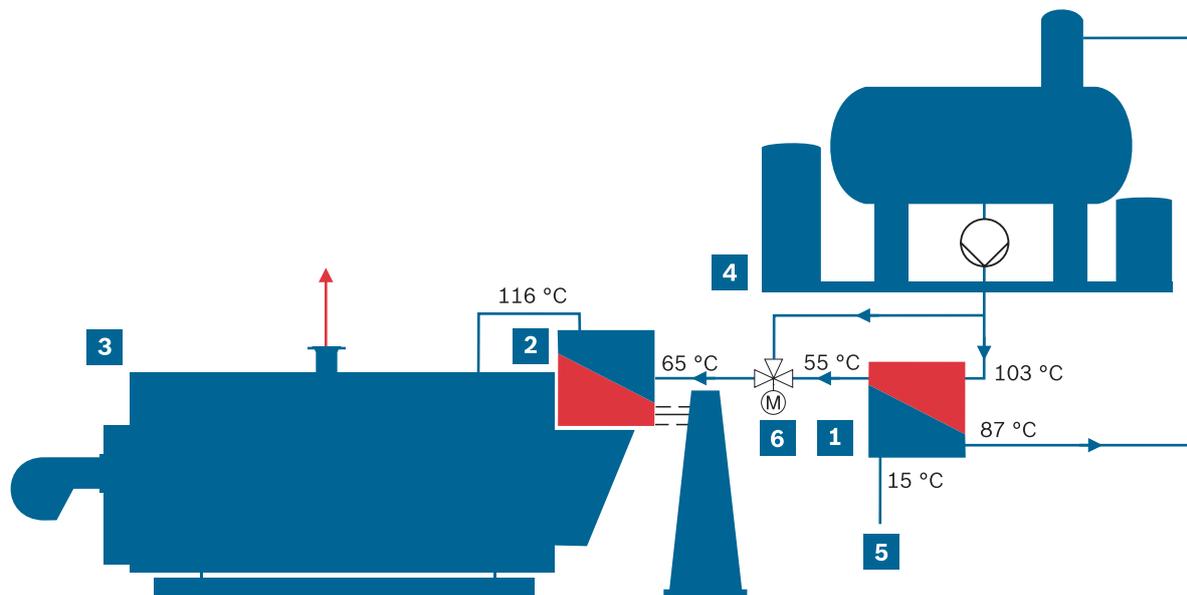
Recuperación de calor

**Módulos para calderas de vapor**

Módulos de alimentación

Controles del sistema

- Puesta en marcha, mantenimiento y funcionamiento sencillos



**Fig. 213** Ilustración de un sistema de caldera de vapor con módulo de refrigeración del agua de alimentación (representación muy simplificada)

- 1** Módulo de refrigeración del agua de alimentación
- 2** Economizador
- 3** Caldera de vapor

- 4** Módulo de servicio de agua
- 5** Agua de reposición
- 6** Válvula de tres vías

## 4.15 Analizador de agua WA

El buen funcionamiento de la caldera depende de la buena calidad del agua. El analizador de agua mide y controla continuamente los siguientes parámetros:

- Valor del pH en el agua de la caldera
- Valor del pH, contenido de oxígeno y conductividad en el agua de alimentación de la caldera
- Valor del pH y conductividad del condensado o contenido de agua del acumulador de vapor

Todos los datos se transfieren a la SCO de control del sistema a través del sistema de bus. Todos los parámetros relevantes del agua, junto con la conductividad del agua de la caldera y las conductividades de los flujos de condensado individuales, están disponibles en el control del sistema SCO. Las tareas de control basadas en la demanda pueden realizarse de forma totalmente automática. Cuando se superan los límites definidos, todos los parámetros se transfieren a la memoria de fallos del control de sistema SCO del control de planta. Los datos también se pueden registrar de forma continua. Estos pueden transferirse a través del sistema de bus a un sistema de control de nivel superior para su posterior procesamiento.

**Las funciones del analizador de agua son:**

- Control continuo del sistema de dosificación de ligante de oxígeno
- Control continuo del sistema de dosificación de alcalinización
- Activación de la válvula de vapor de escape con indicación de la energía de vapor de escape ahorrada en kWh

### **Construcción**

El analizador de agua consta de un componente de análisis y un componente electrónico, ambos alojados en dos carcasas murales que se interconectan en fábrica.

### **Equipamiento**

El componente de análisis contiene los módulos de medición:

- Control del pH para medir el valor del pH del agua de alimentación de la caldera y del contenido de agua de la caldera para un máximo de tres calderas
- Control de O<sub>2</sub> para medir el contenido de O<sub>2</sub> del agua de alimentación de la caldera
- Sensor de conductividad para medir el valor de conductividad del agua de alimentación de la caldera
- Para la preparación de muestras, refrigeradores de flujo para
  - Agua de caldera y agua de alimentación de caldera
  - Válvulas de control para conmutar y distribuir cada medio individual
- Indicador de caudal para inspección visual

El componente electrónico consta de:

- Unidad de control con panel táctil
- Fuente de alimentación
- Electrónica para los módulos de medición
- Procesadores de comunicación para el intercambio de datos entre el analizador de agua WA y el control del sistema SCO



Resumen de productos

Calderas de vapor

Recuperación de calor

**Módulos para calderas de vapor**

Módulos de alimentación

Controles del sistema

### Resumen de ventajas

- Aumento de la seguridad operativa gracias a la supervisión continua de los valores del agua
- Control automatizado con medición constante del valor de pH, el contenido de oxígeno y la conductividad
- Ahorro de productos químicos gracias a la dosificación de aditivos en función de las necesidades
- Aumento de la eficiencia del sistema gracias a la reducción de las pérdidas por desalinización y al ahorro de energía de los vapores de escape
- Un analizador de agua puede controlar hasta tres calderas
- Todos los valores medidos pueden transmitirse a través de Ethernet a la SCO de control del sistema o al sistema de automatización del cliente, donde pueden visualizarse completamente



**Fig. 214** Analizador de agua WA



Dampf-Kessel 2  
3-Zug-Kessel

 **BOSCH**







Resumen de productos

Calderas de vapor

Recuperación de calor

Módulos para calderas de vapor

**Módulos de alimentación**

Controles del sistema

## 5 Módulos de alimentación para calderas

Puede configurar el funcionamiento de las calderas de vapor según sus necesidades con nuestros módulos de alimentación de calderas listos para instalar. Al mismo tiempo, nuestra tecnología le permite optimizar el control del sistema y protegerlo de influencias de funcionamiento perjudiciales.

### 5.1 Módulo de tratamiento del agua WTM

Para evitar la formación de incrustaciones en la caldera, sólo se permite el funcionamiento de los sistemas de calderas con agua de alimentación ablandada. En la directriz Bosch B002 sobre las características del agua, se limita la dureza total permitida para los diferentes tipos de calderas y modos de funcionamiento. Para ablandar el agua, se filtra el agua bruta y se genera agua de reposición mediante el proceso de intercambio iónico. Los componentes endurecedores iones de calcio y magnesio se sustituyen por iones de sodio.

Las versiones totalmente automáticas simplifican el funcionamiento, evitan errores de manejo, permiten un funcionamiento continuo y garantizan una mayor utilización de la capacidad cuando se utiliza la misma dureza del agua bruta.

#### Construcción

Sobre una estructura de soporte, todos los elementos de la planta descalcificadora están dispuestos de forma clara y funcional totalmente montados. El módulo de tratamiento de agua es apto para todos los tamaños de caldera.

#### Equipamiento

El módulo de tratamiento de agua está formado por la unidad de ablandamiento de agua y un recipiente de ablandamiento de sal.

Una conexión de agua de drenaje, un dispositivo de muestreo, un indicador de presión, así como accesorios de control, válvulas de cierre y de filtro completan el módulo.

#### Resumen de ventajas

- Agua de alimentación constantemente ablandada para evitar la calcificación de las superficies de calentamiento de la caldera
- Buena transferencia de calor, alto rendimiento y larga vida útil de la caldera
- Alto nivel de seguridad de funcionamiento
- La versión con control de calidad permite prescindir del control externo de la dureza, por ejemplo, para un mejor aprovechamiento de la capacidad y sin necesidad de supervisión permanente del funcionamiento, incluso en caso de dureza variable del agua bruta



Fig. 215 Módulo de tratamiento del agua WTM

## 5.2 Módulo de regulación de gas GRM

El módulo regula la presión constante del gas antes del quemador, independientemente de la presión de entrada y del caudal de gas. Garantiza que no se produzcan sobrepresiones ni caudales de gas inadmisibles.

### Construcción

Todos los elementos incluidos en el volumen de suministro están dispuestos en el orden necesario y se entregan totalmente montados sobre una estructura de soporte.

### Equipamiento

El módulo de regulación de gas incluye todos los accesorios como filtro, válvula de bola, válvula de cierre, etc., que son necesarios para el suministro de combustible del quemador por el lado del gas.

### Resumen de ventajas

- Premontado para una instalación rápida
- Cumplimiento exacto de las directrices oficiales
- Mayor seguridad de funcionamiento

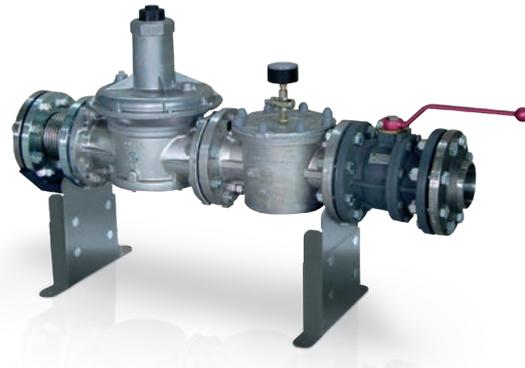


Fig. 216 Módulo de regulación de gas GRM

## 5.3 Módulo de circulación de aceite OCM

El módulo de circulación de aceite prepara combustibles líquidos, mide el caudal, y está listo para conectar por quemador para una fácil instalación en líneas anulares con una presión aguas arriba de al menos 1.5 bar. El depósito colector de gasóleo de dos cámaras está diseñado para quemadores de atomización a presión de gasóleo ligero y pesado con un sistema de atomización de reflujo.

### Construcción

Este módulo se combina en una unidad compacta totalmente montada sobre una placa de soporte y se suministra con una cubierta protectora.

### Equipamiento

El módulo incluye un depósito colector de dos cámaras, una válvula de filtro, el indicador de cantidad de aceite, una válvula de cierre, una válvula de salvaguarda de presión, una válvula de cierre de ventilación y dos tapones de drenaje. Para el funcionamiento con fuel-oil pesado también hay un cartucho calefactor para el filtro y el depósito.

### Resumen de ventajas

- Premontado para una instalación rápida
- Registro fiable del caudal de aceite



Fig. 217 Módulo de circulación de aceite OCM



Resumen de productos

Calderas de vapor

Recuperación de calor

Módulos para calderas de vapor

**Módulos de alimentación**

Controles del sistema

## 5.4 Módulo de suministro de aceite OSM

El módulo de suministro de aceite sirve para bombear y filtrar combustibles fósiles en conductos anulares para alimentar uno o varios quemadores.

### Construcción

Está premontado en una bandeja de recogida de aceite como estación simple o doble con todos los accesorios para facilitar su instalación en la línea de anillos.

### Equipamiento

Las estaciones dobles permiten limpiar el filtro sin interrumpir el funcionamiento y ofrecen una reserva del 100 %. El módulo de bomba de aceite combustible pesado está equipado con calefacción eléctrica o combinada para vapor o agua caliente.

### Resumen de ventajas

- Utilizable para todos los sistemas de calderas Bosch con encendido por aceite y alimentación por conducto anular
- Premontado para un montaje rápido



Fig. 218 Módulo de suministro de aceite OSM

## 5.5 Módulo de regulación de la presión del aceite ORM

Dispositivo de control de la presión para mantener la presión en el conducto del anillo de aceite.

### Construcción

El módulo de regulación de la presión del aceite consta de un controlador, que incluye piezas de conexión como un manómetro, una válvula manométrica y una válvula de derivación.

### Resumen de ventajas

- Premontado para una instalación rápida
- Mayor seguridad de funcionamiento



Fig. 219 Módulo de regulación de la presión del aceite ORM

## 5.6 Módulo de precalentamiento del aceite OPM

El módulo de precalentamiento del aceite precalienta el fuelóleo pesado bombeable a la temperatura del atomizador del quemador correspondiente.

### Construcción

Un intercambiador de calor cilíndrico se combina en una unidad compacta ensamblada con accesorios y suministrada sobre una estructura de soporte estable.

### Equipamiento

El intercambiador de calor con haz de tubos extensible puede equiparse opcionalmente con calefacción de vapor o vapor/eléctrica. El módulo, incluido el control de calefacción, el aislamiento térmico y todos los accesorios, está premontado y listo para conectar.

### Resumen de ventajas

- Utilizable en todos los sistemas de calderas Bosch con encendido por aceite y alimentación por conducto anular
- Mayor seguridad de funcionamiento



**Fig. 220** Módulo de precalentamiento del aceite OPM



Resumen de  
productos

Calderas de  
vapor

Recuperación  
de calor

Módulos para  
calderas de vapor

**Módulos de  
alimentación**

Controles del  
sistema



BOSCH

BOSCH





## 6 Controles del sistema

### 6.1 Control de caldera BCO

El control intuitivo de la caldera basado en PLC ofrece una excelente transparencia de los datos operativos para un funcionamiento óptimo de la caldera.



**Fig. 221** Pantalla de inicio del control de calderas BCO para sistemas de calderas de vapor

El control de calderas BCO proporciona todas las funciones necesarias para un funcionamiento óptimo de las calderas de vapor y agua caliente según requisitos especializados. En su pantalla táctil puede consultarse amplia información sobre los estados de funcionamiento, los datos de servicio y los valores medidos. Mediante el software Condition Monitoring integrado se analizan, evalúan y muestran de forma transparente diversos datos del sistema a través de un modelo de semáforo. Las características de funcionamiento que podrían provocar un descenso del rendimiento, un aumento del desgaste o paradas imprevistas pueden determinarse en una fase temprana y, en muchos casos, evitarse. Esto garantiza que el sistema de calderas funcione con un alto nivel de eficiencia y disponibilidad. La función de diagnóstico, incluida de serie, ayuda a la empresa explotadora de la caldera o al técnico de mantenimiento a localizar y subsanar rápidamente las irregularidades en el funcionamiento. Esto aumenta aún más la transparencia y la seguridad de funcionamiento.

El control automático de arranque, espera y parada SUC para calderas de vapor de alta presión está disponible como función opcional del control de calderas BCO. Cuando se utiliza el SUC, los procesos de arranque y parada se realizan de forma totalmente automática, pulsando un botón o en respuesta a una señal de solicitud externa. Las funciones automáticas integradas protegen el sistema contra esfuerzos innecesarios durante los arranques en frío, en modo de mantenimiento del calor y en funcionamiento normal.

#### Equipamiento estándar

- Pantalla táctil de 9, 12, 15 ó 19 pulgadas
- Regulación de salida
- Regulación de nivel
- Control de baja carga

- Control de estado y eficiencia
- Contador de horas de funcionamiento de calderas, bombas y quemadores
- Función de diagnóstico
- Registro del número de arranques del quemador
- Visualización en texto plano de los mensajes de funcionamiento y avería
- Historial de mensajes
- Visualización y almacenamiento intermedio de todos los valores medidos y estados relevantes para el funcionamiento
- Para sistemas de calderas de vapor: control de purga de superficie y purga de fondo automática

Además de las funciones de regulación de potencia, nivel, calidad del agua, purga de fondo y control de la cadena de seguridad que incorporan de serie todas las calderas de vapor modernas, el control de caldera BCO también puede ampliarse para incluir las siguientes opciones y funciones adicionales:

- Arranque automático en frío
- Medición y control de la temperatura de los gases de combustión para calderas con economizador
- Medición y control de la temperatura del vapor sobrecalentado para calderas con sobrecalentador
- Medición de los caudales de vapor, agua de alimentación y combustible
- Cambio automático de la bomba de alimentación por presión, tiempo o avería
- Modo de mantenimiento del calor controlado por tiempo con reducción de la presión
- Visualización de las horas de funcionamiento, la frecuencia de arranque y el número de arranques en frío a lo largo del tiempo
- Detección de condiciones de arranque desfavorables
- Detección de suciedad en el lado del agua y de los gases de combustión o de condensación no deseada
- Generación de informes de servicio según los requisitos
- Visualización de las pérdidas de energía como resultado de la purga de fondo y la purga de superficie
- Visualización del consumo de combustible y agua a lo largo del tiempo
- Visualización de la tasa de eliminación de vapor a lo largo del tiempo
- Visualización del perfil de carga de la caldera a lo largo del tiempo
- Interfaz con sistemas de control de nivel superior
- Mantenimiento remoto a través de MEC Remote
- Interfaz con un sistema de automatización central

### **Resumen de ventajas**

- Manejo intuitivo mediante el uso de símbolos gráficos en pantallas táctiles
- Optimización sencilla de todas las funciones de medición y control
- Las funciones integradas de supervisión y protección garantizan una excelente seguridad de suministro y funcionamiento
- Fácil conexión a sistemas de visualización y control de nivel superior
- Acceso remoto opcional mediante MEC Remote: visualización de la interfaz de usuario
- Condition Monitoring para una alta eficiencia y disponibilidad constantes de los sistemas de calderas
- Funcionamiento totalmente automático de la caldera de vapor de alta presión con el control de arranque, espera y parada SUC



Resumen de productos

Calderas de vapor

Recuperación de calor

Módulos para calderas de vapor

Módulos de alimentación

**Controles del sistema**

## 6.2 Control compacto de calderas de vapor CSC



**Fig. 222** Control CSC para instalación en caldera o como armario de distribución mural

El control para el rango de potencia de vapor más pequeño, de hasta 4.000 kg/h, convence por su facilidad de manejo y se suministra de fábrica con todas las funciones importantes para el funcionamiento semiautomático de la caldera.

### Visión general

El control programable compacto CSC es la solución ideal para calderas de vapor con potencias de vapor de hasta 4.000 kg/h. Incluye todas las funciones estándar importantes para un control y un manejo cómodos. Mientras que el control de caldera BCO está diseñado para sistemas más complejos, el CSC es una alternativa asequible para calderas de vapor individuales de pequeña capacidad.

### Construcción

El control lógico programable está equipado con una pantalla táctil intuitiva. Está integrado en un armario de control de caldera y montado de forma fija en la caldera, con cableado completo para los sensores, actuadores y quemador. Opcionalmente, el armario de control puede montarse en la pared.

### Funciones estándar del equipo

- Indicador de nivel de agua bajo y alto
- Limitador de presión para un exceso de presión máximo
- Control del nivel de agua, de 2 pasos o continuo
- Dispositivo de protección contra ebullición de la bomba de alimentación
- Regulación de salida, de 2 pasos o continua
- Mensajes de alarma y avería con memoria de mensajes

Además de las funciones estándar, el CSC puede ampliarse para incluir funciones adicionales, como el control de la conductividad o la purga automática del fondo.

### Resumen de ventajas

- Atractiva relación calidad-precio para calderas de vapor con potencias de vapor de hasta 4.000 kg/h
- Pantalla táctil en color para un manejo sencillo y una visualización clara de las condiciones de funcionamiento
- Instalación flexible y mínima necesidad de espacio: instalado en la caldera en fábrica o suministrado como armario de distribución mural
- Precableado y prueba de funcionamiento en fábrica
- Electrónica de potencia para alimentación de combustible, bomba de agua de alimentación, purga de fondo y purga de superficie
- Condiciones ideales del agua gracias a la purga de superficie y la purga de fondo totalmente automáticas y controladas por conductividad

## 6.3 Control del sistema SCO



**Fig. 223** Pantalla de inicio del control del sistema SCO

El SCO combina los controles de las calderas de vapor y/o de agua caliente, así como los controles de módulos individuales, en un sistema de gestión de nivel superior y abre un abanico de posibilidades.

Los controles de caldera individuales BCO, cualquier control adicional y el SCO se comunican a través de un sistema de bus de alto rendimiento. De este modo, no es necesario realizar complejos trabajos de cableado ni aislar las señales. La conexión a los sistemas de visualización y control de nivel superior puede establecerse a través de diversos protocolos, como Modbus o BACnet.

### Construcción

Control lógico programable de alto rendimiento con interfaz de operador como pantalla TFT en color con pantalla táctil.

### Equipamiento

- Control de secuencia de sistemas de calderas múltiples



Resumen de productos

Calderas de vapor

Recuperación de calor

Módulos para calderas de vapor

Módulos de alimentación

**Controles del sistema**

- Integración de análisis de agua
- Integración de sistemas de desaireación
- Integración de sistemas de condensado
- Integración de sistemas de control de materias extrañas
- Integración de sistemas de suministro de aceite
- Gama extremadamente amplia de controles de presión y temperatura
- Control de bomba de reserva con control automático de secuencia de caldera (para vapor)
- Integración de bombas dosificadoras

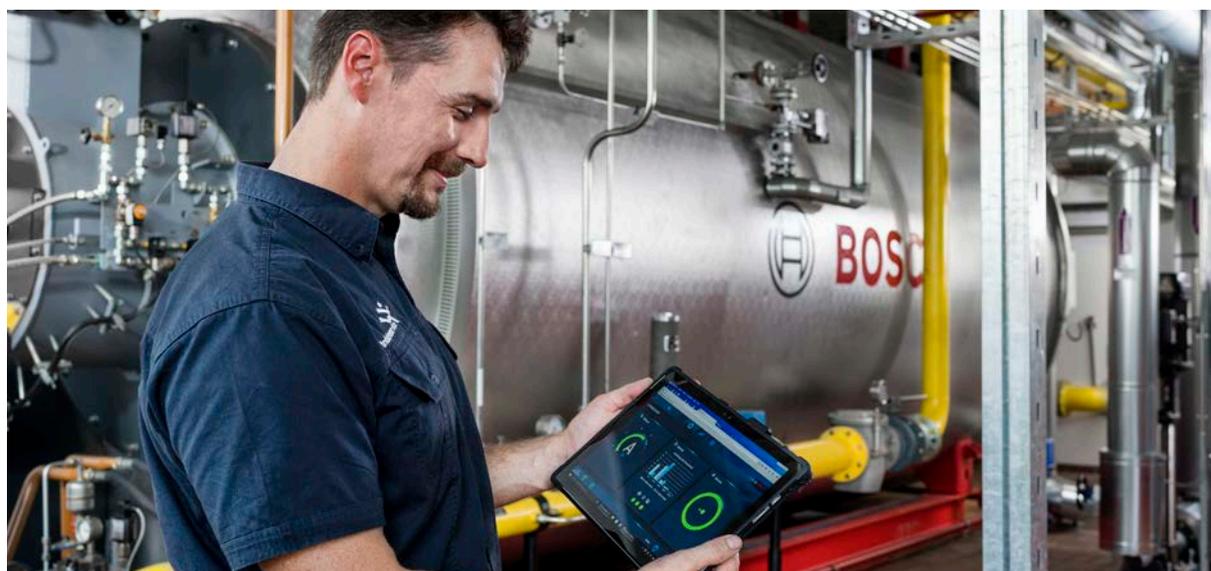
#### Equipamiento opcional

- Aire acondicionado integrado para regiones tropicales
- Armario de control de acero inoxidable
- Accionamiento externo mediante sistema de automatización

#### Resumen de ventajas

- Fácil conexión a sistemas de visualización y control de nivel superior
- Funciones de supervisión y seguridad integradas para evitar el funcionamiento incorrecto
- Amplio almacenamiento de parámetros de funcionamiento y mensajes de estado del sistema
- Acceso remoto opcional mediante MEC Remote: visualización de la interfaz de usuario
- Manejo intuitivo mediante el uso de símbolos gráficos en modernas pantallas táctiles

## 6.4 MEC Optimize



**Fig. 224** Eficiencia y disponibilidad de un vistazo: MEC Optimize guarda, evalúa y visualiza los datos de todos los componentes del sistema conectados

MEC Optimize es un sistema inteligente suministrado por Bosch para la supervisión y optimización de sistemas de calderas industriales. MEC Optimize capta y analiza todos los datos del sistema de calderas y de los componentes del sistema vinculados y los almacena durante muchos años. El sistema indica de forma clara y precisa cualquier aumento del consumo de energía y evalúa el modo de funcionamiento del sistema. También se emiten previsiones del desgaste de los componentes en función del modo

de funcionamiento individual, lo que permite mejorar la planificación del mantenimiento y, a su vez, aumentar la disponibilidad del sistema.

El manejo de la documentación del sistema se simplifica: todos los documentos importantes para el sistema de calderas, como las instrucciones de funcionamiento, están precargados en formato digital en el sistema.

Con el libro de registro digital de la caldera, los responsables de la caldera pueden introducir los valores de medición registrados en cada intervalo de prueba e imprimirlos con la función de exportación para firmarlos o archivarlos por separado, según sea necesario.

El libro de registro inteligente de la caldera también comprueba todos los datos introducidos, los compara con las especificaciones del fabricante y ofrece recomendaciones de actuación en caso de que existan discrepancias.

La interfaz de usuario de MEC Optimize se puede visualizar con cualquier PC de sobremesa o tableta estándar, también en todo el mundo utilizando cualquier dispositivo terminal preparado para Internet en combinación con MEC Remote. Esto significa que los responsables pueden controlar en todo momento el consumo de energía y la disponibilidad del sistema.

Como opción, MEC Optimize también puede transferir el estado actual del sistema a MEC Remote, la herramienta de mantenimiento remoto de Bosch, así como notificar información importante al operador a través de SMS o correo electrónico. Para un análisis más profundo de los datos del sistema, también se puede acceder cómodamente a la interfaz del operador a través de varios niveles de seguridad y visualizarla a distancia.

### **Resumen de ventajas**

- Mejora de la eficiencia energética: identificación del aumento de las pérdidas de energía mediante el análisis inteligente de datos
- Sistema de caldera duradero: la supervisión automática del comportamiento operativo evita el funcionamiento incorrecto
- Mayor disponibilidad del sistema - los pronósticos de desgaste permiten una planificación óptima del mantenimiento
- Mayor seguridad de funcionamiento - libro de registro inteligente de la caldera con evaluación automática de los datos de prueba
- Datos históricos de funcionamiento: el registro continuo de datos facilita la optimización del sistema y la localización de averías
- Almacenamiento digital de documentos: todos los documentos importantes del sistema se guardan localmente y se pueden recuperar en cualquier momento
- Conexión remota opcional a través de MEC Remote: envía el estado actual del sistema y notifica los eventos importantes al operador por SMS o correo electrónico



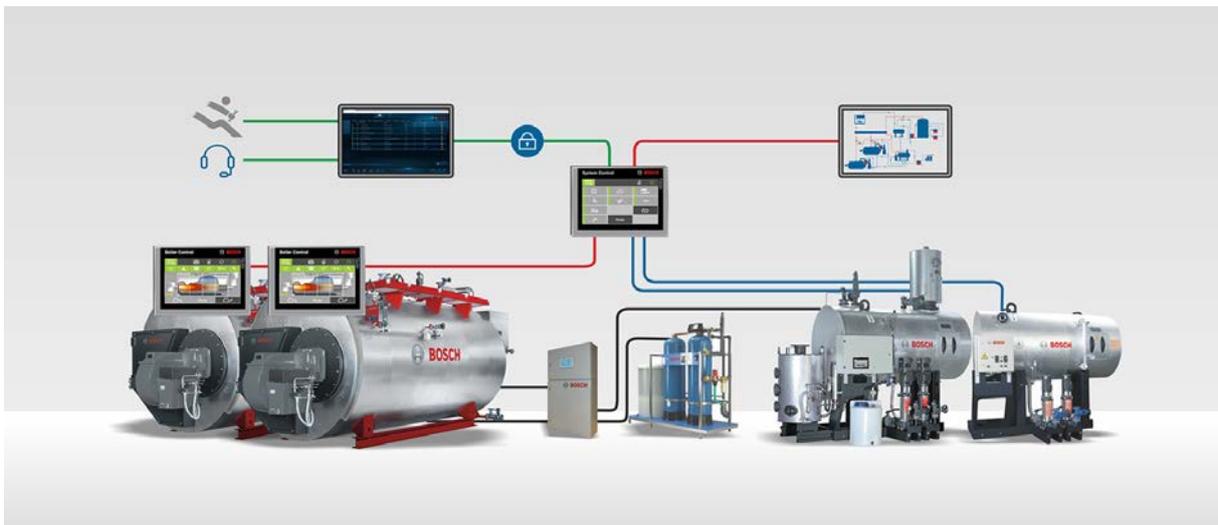
### Rango de funciones

- Visualización clara y en color de la ubicación y los estados de funcionamiento, las temperaturas y el rendimiento de los sistemas
- Gestión de usuarios y concepto de funcionamiento adaptado a la configuración del sistema
- Gestión de alarmas e informes por correo electrónico y SMS
- Configuración de parámetros a través del panel de control del sistema (HMI)
- Supervisión de energía y datos, panel de control, función de búsqueda

### Resumen de ventajas

- Funcionamiento más eficiente y económico de sus sistemas y del sistema en general
- Transparencia mediante la supervisión de la energía y los datos
- Control óptimo de sus sistemas de generación y distribución de energía
- Interfaz de usuario moderna e intuitiva
- Capacidad multiprotocolo
- MEC System para una visualización clara y coloreada de la ubicación y las condiciones de funcionamiento, las temperaturas y el rendimiento de los sistemas

## 6.6 MEC Remote



**Fig. 226** Representación simplificada de los flujos de datos en un sistema con varios controles y MEC Remote

Con MEC Remote, los operadores pueden acceder a distancia a sus sistemas de calderas de agua caliente y vapor de forma cómoda y segura. Esto significa que todo el control de la caldera y del sistema puede visualizarse utilizando dispositivos estándar con conexión a Internet.

MEC Remote es, por tanto, la solución ideal para operaciones:

- en los que el personal supervisor no pueda estar continuamente presente
- con sistemas de calderas múltiples sujetos a supervisión obligatoria
- con servicio de reserva los fines de semana



Resumen de productos

Calderas de vapor

Recuperación de calor

Módulos para calderas de vapor

Módulos de alimentación

**Controles del sistema**

Los controles de caldera de Bosch son compatibles con los sistemas de control de procesos disponibles en el mercado. MEC Remote también puede utilizarse con sistemas sin interfaz de control de procesos.

Gracias a un mapa general también se pueden supervisar varios sistemas en todo el mundo al mismo tiempo. Si es necesario, también se puede notificar automáticamente al operador por SMS o correo electrónico las anomalías y fallos. Esto reduce significativamente la supervisión necesaria para sistemas con altos requisitos de fiabilidad, como los que están en funcionamiento constante.

Otra ventaja para el usuario es la asistencia remota opcional que ofrece el Servicio Industrial de Bosch. Los expertos de Bosch pueden realizar ajustes avanzados de parámetros, programación (PLC) y localización de averías directamente a través del sistema de mantenimiento remoto. Cuando fallan componentes, los expertos del servicio técnico pueden analizar y reducir la causa a distancia y asegurarse de que llegan con el equipo adecuado. Esto reduce al mínimo los tiempos de inactividad de la caldera y los costes de servicio.

Uno de los requisitos más importantes de la conexión remota es la máxima seguridad. De ello se encarga el ingenioso concepto de roles, que controla los derechos de acceso y las intervenciones de control autorizadas. El propio acceso remoto tiene un concepto de seguridad multinivel. La conexión de datos externa puede activarse o desactivarse en la sala de calderas en el lado del hardware mediante una clave. Además del inicio de sesión con nombre de usuario y contraseña mediante transferencia de datos cifrada (https), se utiliza un procedimiento TAN móvil. Como en el caso de la banca en línea, los datos de acceso se envían en el teléfono móvil del operador. En lugar de almacenarse en una nube, los datos de funcionamiento de las calderas industriales se almacenan localmente en el sistema. Los conceptos de seguridad de MEC Remote fueron ideados por ESCRYPT GmbH. Cirosec GmbH realiza periódicamente auditorías de seguridad.

### Resumen de ventajas

- Acceso a los datos de funcionamiento en cualquier momento y lugar
- Sistemas de calderas y plantas combinadas de calor y electricidad en todas las ubicaciones en una pantalla general
- Control rápido, cómodo y económico de los datos de la instalación
- Transmisión segura gracias a un concepto de seguridad de varios niveles
- Asistencia remota opcional del Servicio Industrial de Bosch
- Notificaciones por SMS o correo electrónico para eventos definidos, si es necesario





# Herramientas

<b>1</b>	<b>Símbolos</b>	<b>379</b>
1.1	Símbolos físicos	379
1.2	Relaciones	381
1.3	Operadores	381
1.4	Índices	381
1.5	Designaciones de tuberías e instrumentación	383
<b>2</b>	<b>Conversión</b>	<b>387</b>
2.1	Potencias decimales	387
2.2	Masa	387
2.3	Longitudes, áreas y volúmenes	388
2.4	Presión	389
2.5	Temperatura	389
2.6	Energía	389
<b>3</b>	<b>Combustible</b>	<b>391</b>
3.1	Características del combustible	391
3.2	Punto de rocío de los gases de combustión	393
3.3	Diagramas de puntos de pinzamiento, sistema de calderas	394
<b>4</b>	<b>Principios básicos del vapor de agua</b>	<b>397</b>
4.1	Presión y temperatura de ebullición	397
4.2	Tabla de vapor de agua	398
4.3	Densidad	403
<b>5</b>	<b>Sistemas de vapor</b>	<b>405</b>
5.1	Potencia de vapor y de combustión de la caldera	405
5.2	Purga de superficie y purga de fondo	405
5.3	Fórmula de altura	406
5.4	Tuberías	406
5.5	Identificación	414
5.6	Pérdidas de calor	416
5.7	Sonido	418
<b>6</b>	<b>Otros</b>	<b>419</b>
6.1	Clasificación IP de las carcasas	419





# 1 Símbolos

## 1.1 Símbolos físicos

### Variables físicas fundamentales

Símbolo	Designación	Unidad
<b>n</b>	Cantidad	
<b>l</b>	Longitud	mm; m
<b>r</b>	Radio	mm
<b>d</b>	Diámetro	mm
<b>s</b>	Espesor de pared	mm
<b>u</b>	Velocidad	m/s
<b>A</b>	Superficie	mm <sup>2</sup> ; m <sup>2</sup>
<b>V</b>	Volumen	m <sup>3</sup>
$\dot{V}$	Caudal volumétrico	m <sup>3</sup> /h
$\dot{V}_n$	Caudal volumétrico estándar	m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /h
<b>m</b>	Masa	kg; t
$\dot{m}$	Caudal másico	kg/h; t/h
<b>Q</b>	Cantidad de calor	kJ; kWh; MJ; MWh
$\dot{Q}$	Caudal de calor	kW; MW
<b>t</b>	Tiempo	s; h; a
<b>T</b>	Temperatura	K; °C
<b>p</b>	Exceso de presión	Pa; mbar; bar
<b>p<sub>abs</sub></b>	Presión absoluta	bara
$\rho$	Densidad	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_n$	Densidad estándar	kg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>
<b>h</b>	Entalpía específica	kJ/kg
<b>r</b>	Entalpía específica de evaporación	kJ/kg
<b>c<sub>p</sub></b>	Capacidad calorífica específica	kJ/kgK

**Tab. 35** Variables físicas fundamentales

### Combustión

Símbolo	Designación	Unidad
$H_i$	Poder calorífico neto	kWh/kg; kWh/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>
$H_s$	Poder calorífico bruto	kWh/kg; kWh/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>
$\alpha$	Relación de condensación de los gases de combustión	kg/kg
$\lambda$	Exceso de aire	kg/kg

Tab. 36 Combustión

### Eficiencia

Símbolo	Designación	Unidad
$\eta$	Eficiencia	%
$q_A$	Pérdida de gases de combustión en relación con $H_i$	%
$\eta_a$	Grado de utilización anual	%

Tab. 37 Eficiencia

### Transferencia de calor

Símbolo	Designación	Unidad
$\lambda$	Conductividad térmica	W/mK
$\alpha$	Coefficiente de transferencia de calor	W/m <sup>2</sup> K
$k$	Coefficiente de transición térmica	W/m <sup>2</sup> K

Tab. 38 Transferencia de calor

### Mecánica de fluidos

Símbolo	Designación	Unidad
$\zeta$	Coefficiente de pérdida de carga	
$\lambda$	Coefficiente de fricción de la tubería	

Tab. 39 Mecánica de fluidos

### Otros

Símbolo	Designación	Unidad
$\alpha$	Coefficiente de dilatación térmica	mm/(m · 100 K)
$L$	Conductividad eléctrica	"S/cm

Tab. 40 Otros



## 1.2 Relaciones

Símbolo	Designación	Unidad
<b>a</b>	Tasa de purga superficial = $m_{BD}/m_{S,boi}$	kg/kg
<b>c</b>	Tasa de acumulación de condensado = $m_{Co,tll}/m_S$	kg/kg
<b>z</b>	Tasa de agua de reposición = $m_{MW}/m_S$	kg/kg
<b>x</b>	Fracción de masa	kg/kg
<b>y</b>	Porcentaje de volumen o porcentaje molar	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>

Tab. 41 Relaciones

## 1.3 Operadores

Símbolo	Designación	Unidad
<b>Δ</b>	Diferencial	
<b>·</b>	Caudal	e.g.: kg/h; kg/s; ...

Tab. 42 Operadores

## 1.4 Índices

### General

Símbolo	Designación
<b>min</b>	Mínimo
<b>max</b>	Máximo
<b>avg</b>	Media
<b>alw</b>	Permitido
<b>tll</b>	Total
<b>st</b>	Estequiométrico
<b>abs</b>	Absoluto
<b>n</b>	Temperatura y presión estándar (en condiciones estándar)
<b>b</b>	Funcionamiento (en condiciones de funcionamiento)
<b>l</b>	Pérdida

Tab. 43 General

### Estado del agua/vapor

Símbolo	Designación
<b>S</b>	Saturación (estado de ebullición)
'	Líquido saturado, agua en ebullición
”	Vapor saturado, vapor saturado

**Tab. 44** Estado del agua/vapor

### Localización/aparato/parte del sistema

Símbolo	Designación
<b>SV</b>	Válvula de seguridad
<b>PL</b>	Limitador de presión
<b>boi</b>	Caldera
<b>Sys</b>	(Caldera de vapor) sistema
<b>bu</b>	Quemador (de combustión)
P	(Tuberías
valve	Válvulas
C	Consumidor
dC	Consumidor directo
iC	Consumidor indirecto
OU	Uso propio
dea	Desaireación
HL	Pérdida de calor
ES	Pérdida por expansión/vapor
HX	Intercambiador de calor
amb	Ambiente

**Tab. 45** Localización/aparato/parte del sistema

### Medio

Símbolo	Designación
<b>A</b>	Aire
<b>FG</b>	Gases de combustión
<b>F</b>	Combustible
<b>MW</b>	Agua de reposición
<b>PW</b>	Agua de proceso



Símbolo	Designación
<b>FW</b>	Agua de alimentación
S	Vapor
HS	Vapor de calentamiento (depósito de agua de alimentación)
BD	Purga de superficie
VS	Vapor de escape
Co	Condensado
oCo	Condensado oxigénico
fCo	Condensado sin oxígeno

Tab. 46 Medio

## 1.5 Designaciones de tuberías e instrumentación

Letra	Categoría	Función de procesamiento
A	Análisis	Alarma, mensaje
B	Medición óptica (por ejemplo, control de la llama)	Limitación
C	-	Control
D	Densidad	Diferencial
E	Tensión eléctrica	- (no debe utilizarse)
F	Caudal	Relación
G	Distancia, longitud, posición	- (no debe utilizarse)
H	Entrada manual, intervención manual	Límite superior, encendido, abierto
I	Corriente	Indicación analógica
J	Salida eléctrica	- (no debe utilizarse)
K	Función temporizada	Tasa de cambio temporal, por ejemplo, para la aceleración o el cálculo de una deducción
L	Nivel de llenado	Límite inferior, apagado, cerrado
M	Humedad	- (no debe utilizarse)
N	Accionamiento eléctrico (todos los electrónicos, p. ej. motor, calefacción)	- (no debe utilizarse)
O	-	Visualización de estado local o PCS de señales binarias
P	Presión	Conexión de punto (prueba)

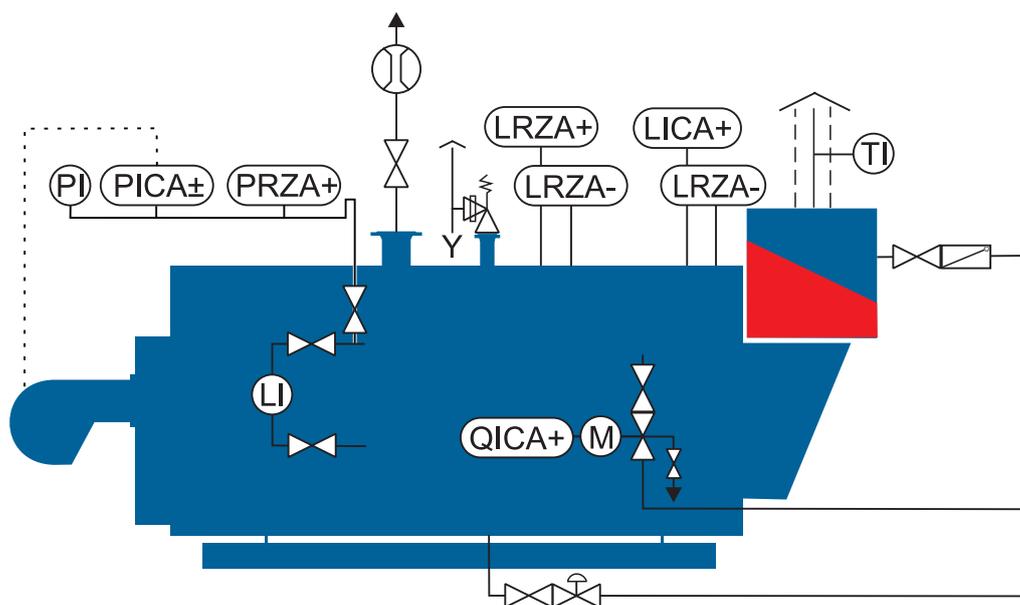
Letra	Categoría	Función de procesamiento
Q	Cantidad o número, características del material*, factores de calidad*, análisis* (aparte de D, M, V)	Integral, cantidad o suma
R	Variables de radiación	Valor registrado
S	Velocidad o frecuencia (incluida la aceleración)	Función de control binario o función de conmutación (no relevante para la seguridad)
T	Temperatura	- (no debe utilizarse)
U	-	- (no debe utilizarse)
V	Vibración, análisis mecánico, par	- (no debe utilizarse)
W	Peso, masa, fuerza	- (no debe utilizarse)
X	- (para significados no enumerados)	- (para significados no enumerados)
Y	Accionamiento hidráulico o neumático (conmutación, cambio, restricción por servoválvula, por ejemplo)	Función de cálculo
Z	-	Función de control binario o función de conmutación (relevante para la seguridad)

**Tab. 47** Designaciones de tuberías e instrumentación

Se utilizan las letras de código para la tecnología CEM según EN 62424:2014-05.

\* el significado de Q se ha tomado de la norma predecesora DIN 19227-1 1993-10.

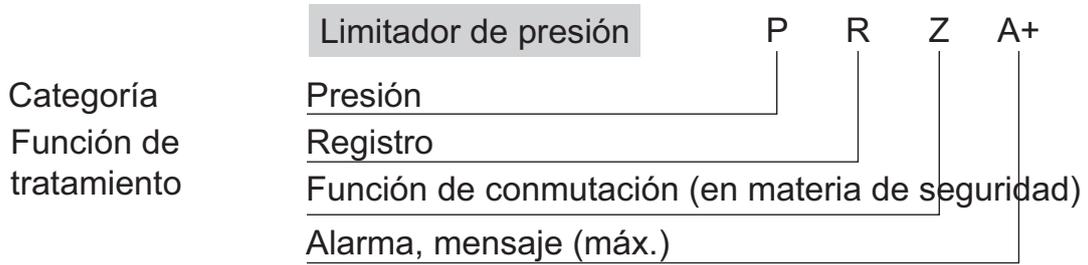
### Ejemplo de aplicación de la nomenclatura a los equipos de calderas de vapor:



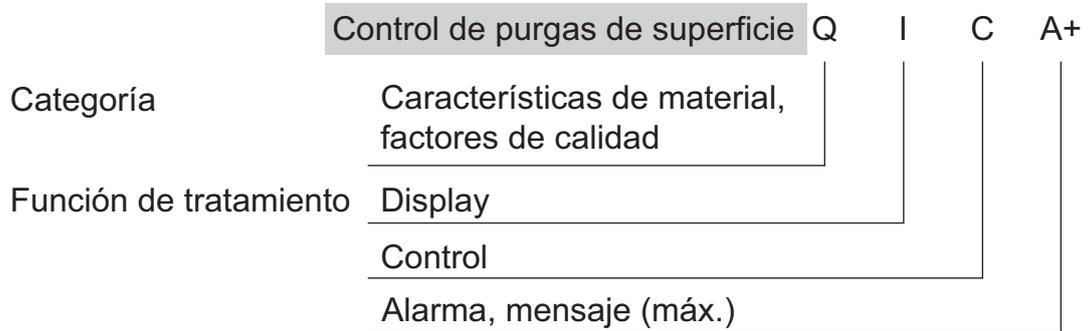
**Fig. 227** Equipamiento de una caldera de vapor



**Ejemplo 1:**



**Ejemplo 2:**







## 2 Conversión

### 2.1 Potencias decimales

Prefijo	Poder	Abreviatura	
<b>Exa</b>	10 <sup>18</sup>	E	x 1 000 000 000 000 000 000
<b>Peta</b>	10 <sup>15</sup>	P	x 1 000 000 000 000 000
<b>Tera</b>	10 <sup>12</sup>	T	x 1 000 000 000 000
<b>Giga</b>	10 <sup>9</sup>	G	x 1 000 000 000
<b>Mega</b>	10 <sup>6</sup>	M	x 1,000 000
<b>Kilo</b>	10 <sup>3</sup>	k	x 1,000
<b>Hecto</b>	10 <sup>2</sup>	h	x 100
<b>Deca</b>	10 <sup>1</sup>	da	x 10
<b>Deci</b>	10 <sup>-1</sup>	d	/ 10
<b>Centi</b>	10 <sup>-2</sup>	c	/ 100
<b>Milli</b>	10 <sup>-3</sup>	m	/ 1 000
<b>Micro</b>	10 <sup>-6</sup>	μ	/ 1,000 000
<b>Nano</b>	10 <sup>-9</sup>	n	/ 1,000 000 000
<b>Pico</b>	10 <sup>-12</sup>	p	/ 1,000 000 000 000
<b>Femto</b>	10 <sup>-15</sup>	f	/ 1,000 000 000 000 000
<b>Atto</b>	10 <sup>-18</sup>	a	/ 1 000 000 000 000 000 000

Tab. 48 Potencias decimales

### 2.2 Masa

Tabla de conversión, masa

De	A	kg	t	lb
<b>kg</b>	1.0		0.001	2.2046
<b>t</b>	1.0	1 000		2 204.6
<b>lb</b>	1.0	0.4536	0.0004536	

Tab. 49 Tabla de conversión, masa

## 2.3 Longitudes, áreas y volúmenes

**Tabla de conversión, longitudes**

De \ A	m	in	ft	yd
m 1.0		39.37	3.281	1.094
in 1.0	0.0254		0.08333	0.02778
ft 1.0	0.3048	12		0.3333
yd 1.0	0.9144	36	3.0	

**Tab. 50** Tabla de conversión, longitudes

**Tabla de conversión, áreas**

De \ A	m <sup>2</sup>	in <sup>2</sup>	ft <sup>2</sup>	yd <sup>2</sup>
m <sup>2</sup> 1.0		1,550	10.764	1.196
in <sup>2</sup> 1.0	0.000645		0.006944	0.000771
ft <sup>2</sup> 1.0	0.0929	144		0.1111
yd <sup>2</sup> 1.0	0.8361	1,296	9.0	

**Tab. 51** Tabla de conversión, áreas

**Tabla de conversión, volúmenes**

De \ A	m <sup>3</sup>	in <sup>3</sup>	ft <sup>3</sup>	yd <sup>3</sup>
m <sup>3</sup> 1.0		61,023	35.3198	1.3093
in <sup>3</sup> 1.0	0.000016		0.000579	0.000021
ft <sup>3</sup> 1.0	0.0283	1,728		0.0370
yd <sup>3</sup> 1.0	0.7646	46,656	27.0	

**Tab. 52** Tabla de conversión, volúmenes

### Factores de conversión

- Longitud = Factor de conversión x
- Superficie = Factor de conversión x<sup>2</sup>
- Volumen = Factor de conversión x<sup>3</sup>



## 2.4 Presión

Tabla de conversión, presión

De \ A	bar	atm	m WS	m Hg	psi	kgf/cm <sup>2</sup>
bar	1.0	0.9869	10.20	0.7502	14.503	1.0194
atm	1.0133	1.0	10.33	0.7601	14.695	1.0329
m WS	0.09807	0.096784	1.0	0.073568	1.4223	0.09997
m Hg	1.3330	1.3156	13.593	1.0	19.333	1.3588
psi	0.06895	0.06805	0.7031	0.05173	1.0	0.07029
kgf/cm <sup>2</sup>	0.981	0.96817	10.003	0.73593	14.228	1.0

Tab. 53 Tabla de conversión, presión

Correlación de unidades SI derivadas:

$$\text{bar} = 1,000 \text{ mbar} = 10^5 \text{ Pa (N/mm}^2\text{)}$$



## 2.5 Temperatura

Tabla de conversión, temperatura

De \ A	K	°C	°F
K	1.0	$K - 273.15$	$K \cdot 1.8 - 459.67$
°C	$°C + 273.15$	1.0	$°C \cdot 1.8 + 32$
°F	$(°F + 459.67) / 1.8$	$(°F - 32) / 1.8$	1.0

Tab. 54 Tabla de conversión, temperatura

## 2.6 Energía

Tabla de conversión, energía

De \ A	kJ	kWh	kcal	PSh	BTU	t SKE
kJ	1.0	$2.778 \cdot 10^{-4}$	0.23901	$3.774 \cdot 10^{-4}$	0.94787	$3.412 \cdot 10^{-8}$
kWh	3 600	1.0	860.42	1.3585	3 412.3	$1.228 \cdot 10^{-4}$
kcal	4.184	$1.162 \cdot 10^{-3}$	1.0	$1.579 \cdot 10^{-3}$	3.9659	$1.428 \cdot 10^{-7}$
PSh	2,650	0.73611	633.37	1.0	2 511.8	$9.04202 \cdot 10^{-5}$
BTU	1.055	$2.931 \cdot 10^{-4}$	0.25215	$3.981 \cdot 10^{-4}$	1.0	$3.600 \cdot 10^{-8}$
t SKE	$2.931 \cdot 10^7$	8,141	$7.005 \cdot 10^6$	11,059	$2.778 \cdot 10^7$	1.0

Tab. 55 Tabla de conversión, energía





## 3 Combustibles

### 3.1 Características del combustible

#### 3.1.1 Combustibles gaseosos

Exceso de aire	$\lambda$	1.2	Entrada	Resultado
Densidad estándar, aire	$\rho_{n,A}$ [kg/m <sup>3</sup> <sub>n,A</sub> ]	1.293		

Valor material	Unidad	Gas Natural	Gas Natural	Propano	Propano	Butano	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural	
		L	H	Butano	Butano	Butano	GZ35	GZ41.5	GZ50	
Poder calorífico neto	$H_i$	$\frac{kWh}{kg_F}$	10.65	13.20	12.87	12.83	12.70	7.98	9.65	10.86
	$H_i$	$\frac{kWh}{m^3_{n,F}}$	8.83	10.35	25.89	27.96	34.39	7	8	9
Poder calorífico bruto	$H_S$	$\frac{kWh}{kg_F}$	11.80	14.62	13.98	13.92	13.75	8.86	10.80	12.01
	$H_S$	$\frac{kWh}{m^3_{n,F}}$	9.78	11.46	28.12	30.34	37.23	7.77	8.95	9.95
Densidad estándar	$\rho_{n,F}$	$\frac{kg}{m^3_{n,F}}$	0.829	0.784	2.011	2.18	2.708	0.877	0.829	0.829
Demanda estequiométrica de aire	$L_{ST}$	$\frac{kg_A}{kg_F}$	13.10	16.24	15.57	15.51	15.36	9.84	13.10	13.10
Densidad estándar, gases de combustión	$\rho_{n,FG,st}$ ( $\lambda=1$ )	$\frac{kg}{m^3_{n,FG}}$	1.2366	1.2374	1.2650	1.2664	1.2699	1.2346	1.2366	1.2366
Densidad estándar, gases de combustión	$\rho_{n,FG}$	$\frac{kg}{m^3_{n,FG}}$	1.2451	1.2459	1.2693	1.2706	1.2735	1.2432	1.2451	1.2451
Índice de Wobbe	$W_i$	$\frac{kWh}{m^3}$	11.03	13.29	20.76	21.53	23.76	8.50	9.99	11.24
Punto de rocío	$t_{Co}$	°C	56.9	57.0	53.1	52.9	52.4	56.7	56.9	56.9
Generación de agua <sup>1)</sup>	$w_{spec,H2O}$	$\frac{g_{H2O}}{kWh}$	159.4	158.5	126.9	125.4	122.0	161.8	176.0	156.4
Emisiones de CO <sub>2</sub> <sup>1)</sup>	$w_{spec,CO2}$	$\frac{g_{CO2}}{kWh}$	201.3	202.6	232.6	234.3	238.5	197.6	222.2	197.5
Emisiones de SO <sub>2</sub> <sup>1)</sup>	$w_{spec,SO2}$	$\frac{mg_{SO2}}{kWh}$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Caudal másico de gases de combustión <sup>1)</sup>	$\dot{m}_{spec}$	$\frac{kg_{FG}}{kWh}$	1.570	1.552	1.529	1.529	1.530	1.605	1.733	1.540

Tab. 56 Combustibles gaseosos

<sup>1)</sup> en relación con H<sub>i</sub>

### 3.1.2 Combustibles líquidos

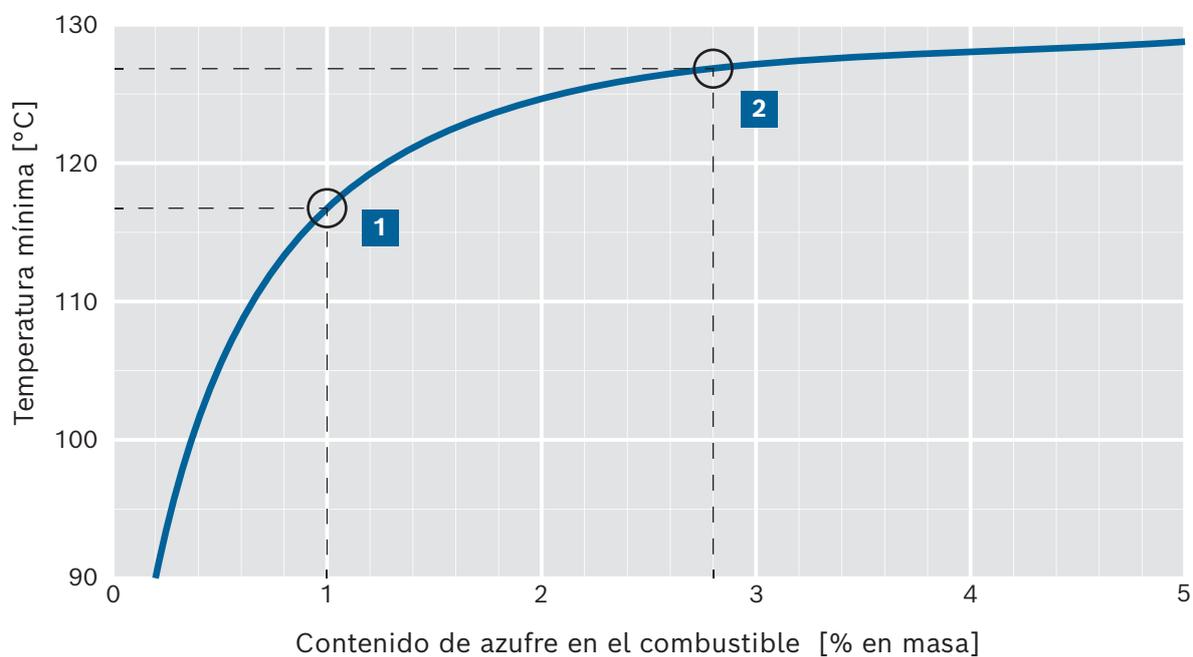
		$\lambda$	1.2			Entrada	Resultado
Exceso de aire		$\lambda$	1.293				
Densidad estándar, aire		$\rho_{n,A}$ [kg/m <sup>3</sup> <sub>n,A</sub> ]	1.293				
Valor material	Unit	Fuelóleo EL	Fuelóleo EL, bajo en azúfre	Fuelóleo SA	Fuelóleo medio HL Schwechat	Fuelóleo medio CLU3	
Poder calorífico neto	$H_i$	$\frac{\text{kWh}}{\text{kg}_F}$	11.89	11.89	11.28	11.64	11.40
	$H_i$	$\frac{\text{kWh}}{\text{l}}$	9.91	9.91	10.98	9.70	10.59
Poder calorífico bruto	$H_S$	$\frac{\text{kWh}}{\text{kg}_F}$	12.70	12.70	11.96	12.38	12.05
	$H_S$	$\frac{\text{kWh}}{\text{l}}$	10.59	10.59	11.64	10.32	11.19
Densidad estándar	$\rho_{n,F}$	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	833.6	833.6	973.6	833.6	928.6
Demanda estequiométrica de aire	$L_{ST}$	$\frac{\text{kg}_A}{\text{kg}_F}$	14.45	14.46	13.89	14.19	13.71
Densidad estándar, gases de combustión	$\rho_{n,FG,st}$ ( $\lambda=1$ )	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3_{n,FG}}$	1.2923	1.2923	1.3063	1.2996	1.3097
Densidad estándar, gases de combustión	$\rho_{n,FG}$	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3_{n,FG}}$	1.2924	1.2924	1.3042	1.2985	1.3071
Índice de Wobbe	$t_{Co}$	°C	48.6	48.6	46.0	47.2	45.4
Punto de rocío	$t_{acid\ cond}$	°C	124.0	97.3	136.4	123.2	141.5
Generación de agua <sup>1)</sup>	$w_{spec,H2O}$	$\frac{\text{g}_{H2O}}{\text{kWh}}$	100.5	100.5	88.7	93.7	83.9
Emisiones de CO <sub>2</sub> <sup>1)</sup>	$w_{spec,CO2}$	$\frac{\text{g}_{CO2}}{\text{kWh}}$	266.4	266.9	285.2	275.8	280.6
Emisiones de SO <sub>2</sub> <sup>1)</sup>	$w_{spec,SO2}$	$\frac{\text{mg}_{SO2}}{\text{kWh}}$	108.4	2.6	597.9	99.2	1 213.8
Caudal másico de gases de combustión <sup>1)</sup>	$\dot{m}_{spec}$	$\frac{\text{kg}_{FG}}{\text{kWh}}$	1.542	1.543	1.567	1.548	1.531

Tab. 57 Combustibles líquidos

<sup>1)</sup> en relación con  $H_i$



### 3.2 Punto de rocío de los gases de combustión



**Fig. 228** Temperatura mínima del agua de alimentación en función del contenido de azufre del combustible

- 1** Fuelóleo SA
- 2** Fuelóleo S

### 3.3 Diagramas de puntos de pinzamiento, sistema de calderas

#### 3.3.1 Diagrama del punto de pinzamiento para el gas

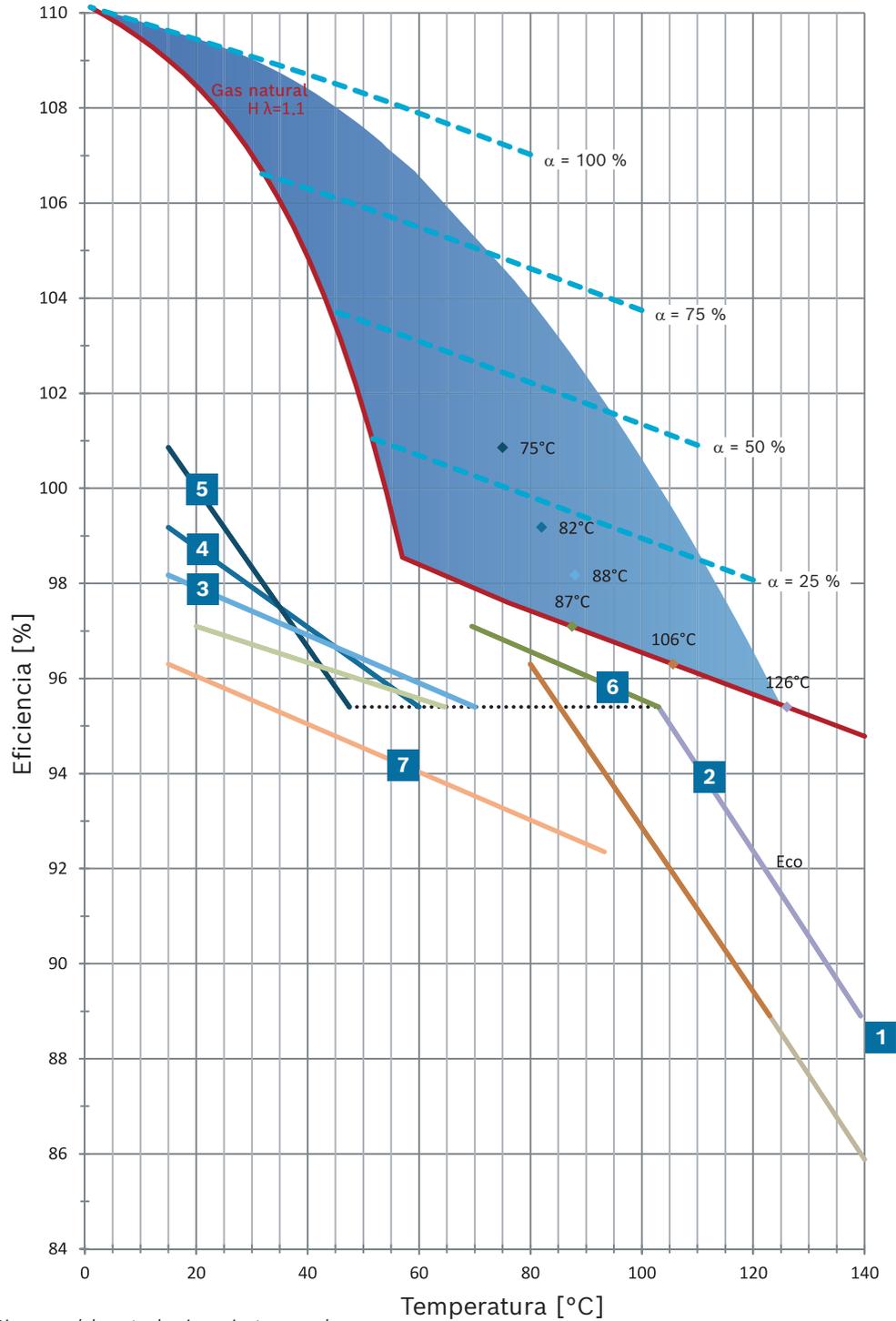


Fig. 229 Diagrama del punto de pinzamiento para el gas

- 1** Caldera
- 2** Caldera + economizador
- 3** Caldera + economizador + intercambiador de condensación (con z = 0.3 / α = 12 %)



- 4** Caldera + economizador + intercambiador de condensación (con  $z = 0.5 / \alpha = 20\%$ )
- 5** Caldera + economizador + intercambiador de condensación (con  $z = 1 / \alpha = 34\%$ )
- 6** Caldera + economizador + precalentamiento del aire (20 °C to 65 °C)
- 7** Caldera + economizador + refrigeración del agua de alimentación (con  $z = 0.3$ )

**Ejemplo:**

Tasa de acumulación de condensado  $c = \dot{m}_{Co} / \dot{m}_S$   
 Tasa de agua de reposición  $z = 1 - c$   
 UL-S **10,000 x 16**  
 Salida de vapor del sistema **10,000 kg/h with  $p_{avg} = 13$  bar**  
 Caudal de purga de superficie **5 %**

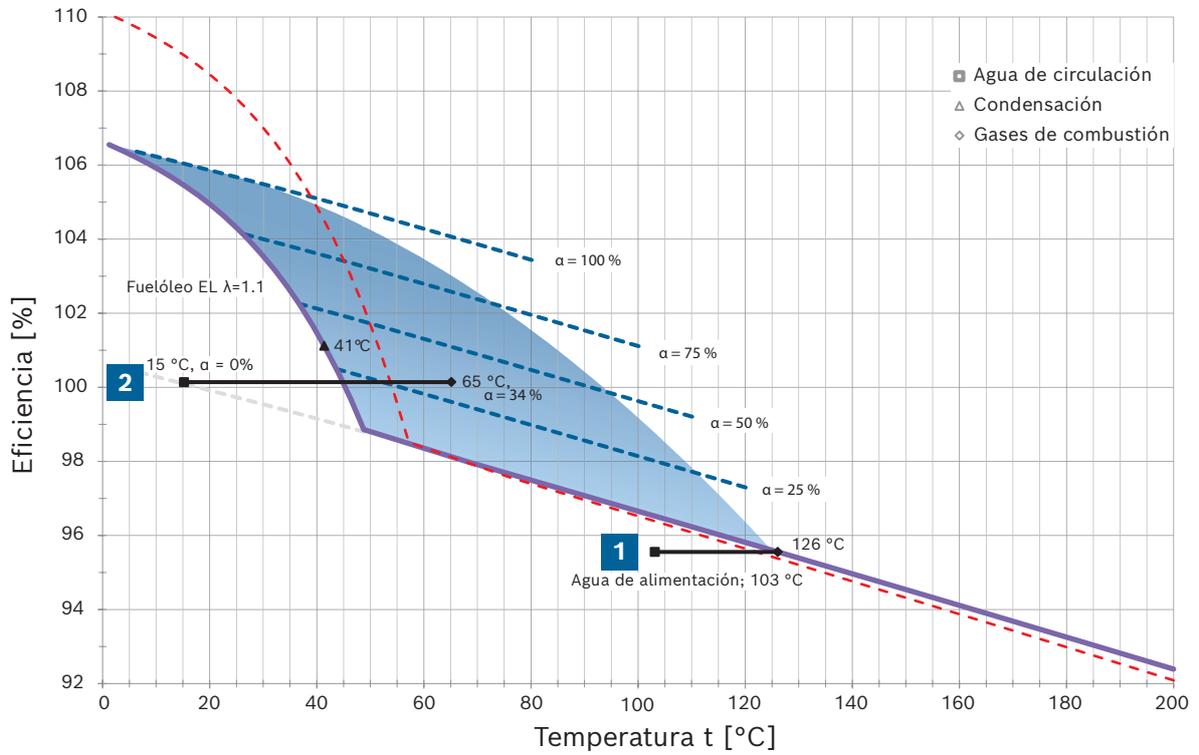
Caso	Componente	Eficiencia	
		Componentes	Total
1	Caldera	88.9 %	---
2	Caldera + economizador	88.9 % + 6.5 %	95.4 %
3	Caldera + economizador + intercambiador de condensación (con $z^1 = 0.3 / \alpha^1 = 12\%$ )	88.9 % + 6.5 % + 2.8 %	98.2 %
4	Caldera + economizador + intercambiador de condensación (con $z = 0.5 / \alpha = 20\%$ )	88.9 % + 6.5 % + 3.8 %	99.2 %
5	Caldera + economizador + intercambiador de condensación (con $z = 1 / \alpha = 34\%$ )	88.9 % + 6.5 % + 7.6 %	100.9 %
6	Caldera + economizador + precalentamiento del aire (20 °C to 65 °C)	88.9 % + 6.5 % + 1.7 %	97.1 %
7	Caldera + economizador + refrigeración del agua de alimentación (con $z = 0.3$ )	88.9 % + 6.5 % + 0.6 %	96.0 %

**Tab. 58** Casos prácticos de combinaciones de medidas para una recuperación óptima del calor

<sup>1)</sup>  $z$  = tasa de agua de reposición

<sup>2)</sup>  $\alpha$  = tasa de acumulación de condensado

### 3.3.2 Diagrama de puntos de pinzamiento para el aceite



**Fig. 230** Diagrama de puntos de pinzamiento para el aceite

- 1** Caldera
- 2** Caldera + economizador

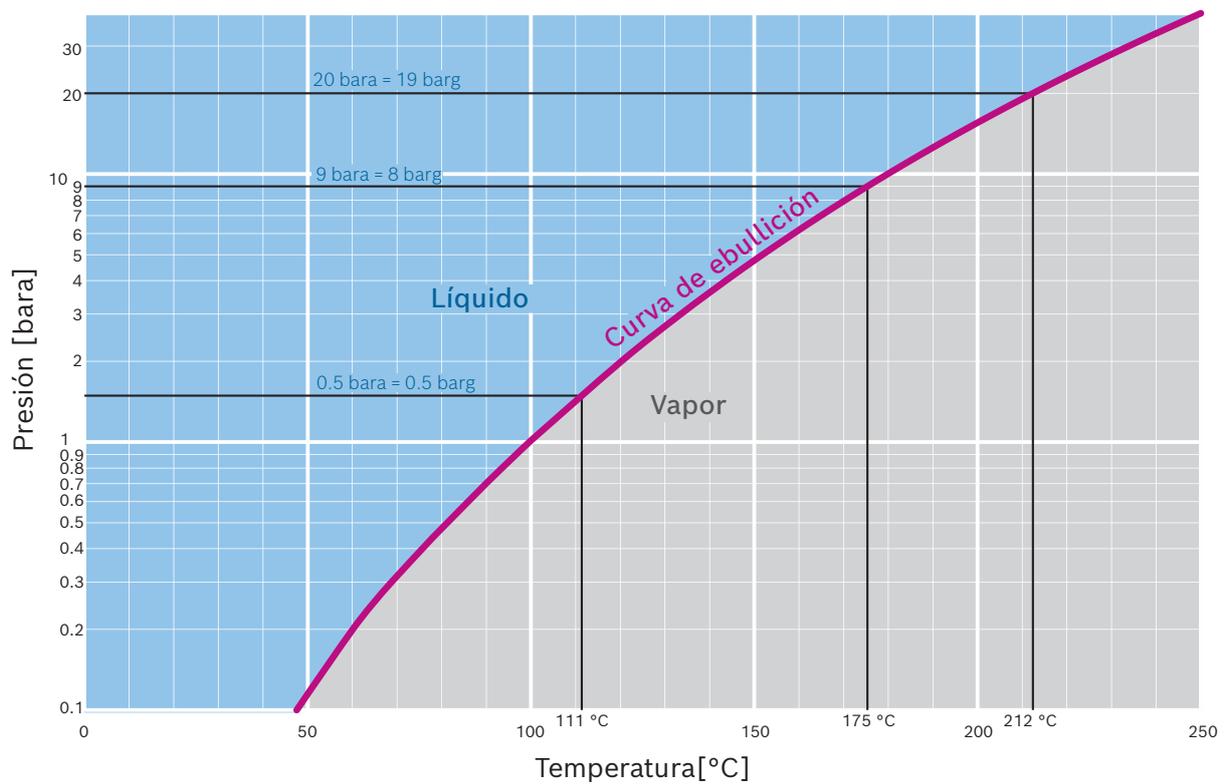


## 4 Principios básicos del vapor de agua

### 4.1 Presión y temperatura de ebullición

El diagrama muestra las curvas presión-temperatura con la curva de ebullición. Observe también los avisos sobre la lectura de gráficos logarítmicos.

→ Herramientas – Capítulo 4.3.1: Lectura de gráficos logarítmicos, página 404



**Fig. 231** Diagrama presión-temperatura del agua con curva de ebullición y áreas para el vapor y el agua (representación logarítmica)

## 4.2 Tabla de vapor de agua

### 4.2.1 Características físicas del agua y el vapor según IAPWS IF-97

Presión positiva	Presión absoluta	Temperatura de ebullición	Entalpía			Densidad	
			Agua	Vapor saturado	Evaporación	Agua	Vapor saturado
$p$ [bar <sub>g</sub> ]	$p$ [bar <sub>a</sub> ]	$t$ [°C]	$h'$ [kJ/kgK]	$h''$ [kJ/kgK]	$r$ [kJ/kgK]	$\rho'$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho''$ [kg/m <sup>3</sup> ]
- 0.9	0.1	45.8	191.8	2 583.9	2 392.1	989.8	0.0682
- 0.8	0.2	60.1	251.4	2 608.9	2 357.5	983.1	0.1308
- 0.7	0.3	69.1	289.2	2 624.6	2 335.3	978.3	0.1913
- 0.6	0.4	75.9	317.6	2 636.1	2 318.5	974.3	0.2504
- 0.5	0.5	81.3	340.5	2 645.2	2 304.7	971.0	0.3086
- 0.4	0.6	85.9	359.8	2 652.9	2 293.0	968.0	0.3661
- 0.3	0.7	89.9	376.7	2 659.4	2 282.7	965.4	0.4229
- 0.2	0.8	93.5	391.6	2 665.2	2 273.5	962.9	0.4791
- 0.1	0.9	96.7	405.1	2 670.3	2 265.2	960.7	0.5349
0.0	1.0	99.6	417.4	2 674.9	2 257.5	958.6	0.5903
0.1	1.1	102.3	428.8	2 679.2	2 250.4	956.7	0.6453
0.2	1.2	104.8	439.3	2 683.1	2 243.8	954.9	0.7001
0.3	1.3	107.1	449.1	2 686.6	2 237.5	953.1	0.7545
0.4	1.4	109.3	458.4	2 690.0	2 231.6	951.5	0.8086
0.5	1.5	111.4	467.1	2 693.1	2 226.0	949.9	0.8625
0.6	1.6	113.3	475.3	2 696.0	2 220.7	948.4	0.9162
0.7	1.7	115.1	483.2	2 698.8	2 215.6	947.0	0.9697
0.8	1.8	116.9	490.7	2 701.4	2 210.7	945.6	1.0230
0.9	1.9	118.6	497.8	2 703.9	2 206.1	944.2	1.0761
1.0	2.0	120.2	504.7	2 706.2	2 201.6	942.9	1.1290
1.5	2.5	127.4	535.4	2 716.5	2 181.2	937.0	1.3914
2.0	3.0	133.5	561.5	2 724.9	2 163.4	931.8	1.6507
2.5	3.5	138.9	584.3	2 732.0	2 147.7	927.1	1.9077
3.0	4.0	143.6	604.7	2 738.1	2 133.3	922.9	2.1627
3.5	4.5	147.9	623.2	2 743.4	2 120.2	919.0	2.4160
4.0	5.0	151.8	640.2	2 748.1	2 107.9	915.3	2.6681
4.5	5.5	155.5	655.9	2 752.3	2 096.5	911.8	2.9189
5.0	6.0	158.8	670.5	2 756.1	2 085.6	908.6	3.1688
6.0	7.0	165.0	697.1	2 762.7	2 065.6	902.6	3.6662



Presión positiva	Presión absoluta	Temperatura de ebullición	Entalpía			Densidad	
			Agua	Vapor saturado	Evaporación	Agua	Vapor saturado
$p$ [bar <sub>g</sub> ]	$p$ [bar <sub>a</sub> ]	$t$ [°C]	$h'$ [kJ/kgK]	$h''$ [kJ/kgK]	$r$ [kJ/kgK]	$\rho'$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho''$ [kg/m <sup>3</sup> ]
7.0	8.0	170.4	721.0	2 768.3	2 047.3	897.0	4.1610
8.0	9.0	175.4	742.7	2 773.0	2 030.3	891.9	4.6539
9.0	10.0	179.9	762.7	2 777.1	2 014.4	887.1	5.1454
10.0	11.0	184.1	781.2	2 780.7	1 999.5	882.6	5.6358
11.0	12.0	188.0	798.5	2 783.8	1 985.3	878.3	6.1256
12.0	13.0	191.6	814.8	2 786.5	1 971.7	874.3	6.6149
13.0	14.0	195.0	830.1	2 788.9	1 958.8	870.4	7.1039
14.0	15.0	198.3	844.7	2 791.0	1 946.3	866.6	7.5929
15.0	16.0	201.4	858.6	2 792.9	1 934.3	863.1	8.0820
16.0	17.0	204.3	871.9	2 794.5	1 922.6	859.6	8.5713
17.0	18.0	207.1	884.6	2 796.0	1 911.4	856.2	9.0611
18.0	19.0	209.8	896.8	2 797.3	1 900.4	853.0	9.5513
19.0	20.0	212.4	908.6	2 798.4	1 889.8	849.8	10.0421
20.0	21.0	214.9	920.0	2 799.4	1 879.4	846.7	10.5336
21.0	22.0	217.3	931.0	2 800.2	1 869.2	843.7	11.0259
22.0	23.0	219.6	941.6	2 800.9	1 859.3	840.8	11.5191
23.0	24.0	221.8	952.0	2 801.5	1 849.6	837.9	12.0132
24.0	25.0	224.0	962.0	2 802.0	1 840.1	835.1	12.5082
25.0	26.0	226.1	971.7	2 802.5	1 830.7	832.4	13.0044
26.0	27.0	228.1	981.2	2 802.8	1 821.5	829.7	13.5016
27.0	28.0	230.1	990.5	2 803.0	1 812.5	827.0	14.0000
28.0	29.0	232.0	999.5	2 803.2	1 803.6	824.4	14.4997
29.0	30.0	233.9	1 008.4	2 803.3	1 794.9	821.9	15.0006
30.0	31.0	235.7	1 017.0	2 803.3	1 786.3	819.4	15.5028
31.0	32.0	237.5	1 025.5	2 803.2	1 777.8	816.9	16.0064
32.0	33.0	239.2	1 033.7	2 803.1	1 769.4	814.5	16.5115
33.0	34.0	240.9	1 041.8	2 803.0	1 761.1	812.1	17.0180
34.0	35.0	242.6	1 049.8	2 802.7	1 753.0	809.7	17.5260

**Tab. 59** Características físicas del agua y el vapor según IAPWS IF-97<sup>1)</sup>

1) Fuente: <http://www.iapws.org/relguide/IF97-rev.pdf>

Presión positiva $p$ [bar <sub>g</sub> ]	Punto de ebullición $t$ °C	Viscosidad dinámica		Conductividad térmica	
		Agua $\eta'$ [μPas]	Vapor saturado $\eta''$ [μPas]	Agua $\lambda'$ [W/mK]	Vapor saturado $\lambda''$ [W/mK]
- 0.9	45.8	587.5	10.49	0.6357	0.0199
- 0.8	60.1	465.9	10.94	0.6508	0.0211
- 0.7	69.1	408.9	11.23	0.6588	0.0219
- 0.6	75.9	373.5	11.45	0.6641	0.0225
- 0.5	81.3	348.6	11.64	0.6678	0.0230
- 0.4	85.9	329.7	11.79	0.6707	0.0234
- 0.3	89.9	314.7	11.93	0.6730	0.0238
- 0.2	93.5	302.3	12.05	0.6748	0.0241
- 0.1	96.7	291.9	12.16	0.6763	0.0245
0.0	99.6	282.9	12.26	0.6776	0.0248
0.1	102.3	275.1	12.35	0.6787	0.0250
0.2	104.8	268.2	12.43	0.6796	0.0253
0.3	107.1	262.0	12.51	0.6804	0.0255
0.4	109.3	256.4	12.59	0.6811	0.0258
0.5	111.4	251.4	12.66	0.6817	0.0260
0.6	113.3	246.8	12.73	0.6822	0.0262
0.7	115.1	242.5	12.79	0.6826	0.0264
0.8	116.9	238.6	12.85	0.6830	0.0266
0.9	118.6	235.0	12.91	0.6834	0.0268
1.0	120.2	231.6	12.96	0.6836	0.0270
1.5	127.4	217.5	13.21	0.6846	0.0278
2.0	133.5	206.8	13.42	0.6849	0.0286
2.5	138.9	198.3	13.61	0.6849	0.0293
3.0	143.6	191.2	13.77	0.6846	0.0299
3.5	147.9	185.2	13.92	0.6842	0.0305
4.0	151.8	180.1	14.05	0.6836	0.0310
4.5	155.5	175.5	14.18	0.6829	0.0316
5.0	158.8	171.6	14.30	0.6821	0.0320
6.0	165.0	164.7	14.51	0.6804	0.0330
7.0	170.4	159.1	14.70	0.6786	0.0338
8.0	175.4	154.3	14.87	0.6766	0.0346



Presión positiva	Punto de ebullición	Viscosidad dinámica		Conductividad térmica	
		Agua	Vapor saturado	Agua	Vapor saturado
$p$ [bar <sub>g</sub> ]	$t$ °C	$\eta'$ [μPas]	$\eta''$ [μPas]	$\lambda'$ [W/mK]	$\lambda''$ [W/mK]
9.0	179.9	150.2	15.02	0.6747	0.0354
10.0	184.1	146.6	15.17	0.6726	0.0361
11.0	188.0	143.4	15.30	0.6706	0.0368
12.0	191.6	140.5	15.43	0.6686	0.0375
13.0	195.0	137.9	15.54	0.6665	0.0381
14.0	198.3	135.5	15.66	0.6645	0.0388
15.0	201.4	133.3	15.76	0.6625	0.0394
16.0	204.3	131.3	15.86	0.6604	0.0400
17.0	207.1	129.5	15.96	0.6584	0.0405
18.0	209.8	127.7	16.05	0.6564	0.0411
19.0	212.4	126.1	16.14	0.6544	0.0416
20.0	214.9	124.6	16.23	0.6525	0.0422
21.0	217.3	123.1	16.31	0.6505	0.0427
22.0	219.6	121.8	16.40	0.6486	0.0432
23.0	221.8	120.5	16.47	0.6466	0.0438
24.0	224.0	119.3	16.55	0.6447	0.0443
25.0	226.1	118.1	16.62	0.6428	0.0448
26.0	228.1	117.0	16.70	0.6409	0.0453
27.0	230.1	115.9	16.77	0.6390	0.0457
28.0	232.0	114.9	16.84	0.6372	0.0462
29.0	233.9	114.0	16.90	0.6353	0.0467
30.0	235.7	113.0	16.97	0.6335	0.0472
31.0	237.5	112.1	17.03	0.6316	0.0476
32.0	239.2	111.3	17.10	0.6298	0.0481
33.0	240.9	110.4	17.16	0.6280	0.0486
34.0	242.6	109.6	17.22	0.6262	0.0490

**Tab. 60** Características físicas del agua y el vapor según IAPWS IF-97<sup>1)</sup>

1) Fuente: <http://www.iapws.org/relguide/IF97-rev.pdf>

## 4.2.2 Vapor de expansión

$$x = \frac{h - h'}{h'' - h'} = \frac{h - h'}{r}$$



**F38.** Ecuación para calcular la fracción másica del vapor de expansión

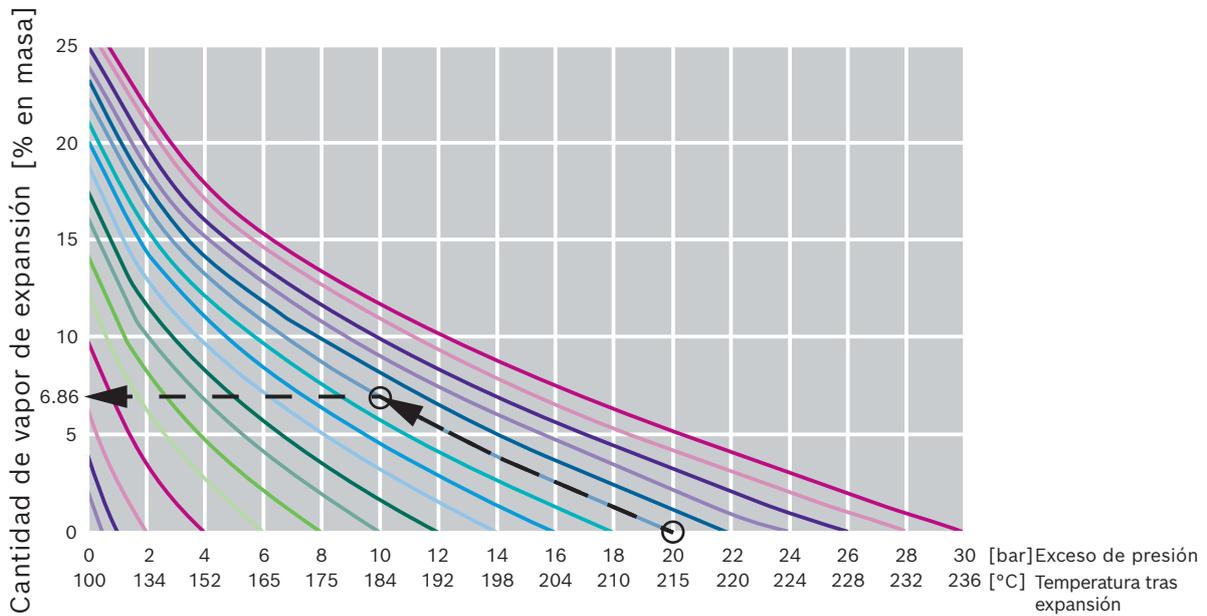
- x** Fracción másica del vapor de expansión [%]
- h** Entalpía [kJ/kg]
- h'** Entalpía del agua en ebullición [kJ/kg]
- h''** Entalpía del vapor saturado [kJ/kg]
- r** Entalpía de evaporación [kJ/kg]

$$x = \frac{919 \text{ [kJ/kg]} - 782 \text{ [kJ/kg]}}{2,780 \text{ [kJ/kg]} - 782 \text{ [kJ/kg]}} = 6.86 \%$$



**B20.** Ejemplo de cálculo para determinar la fracción másica del vapor de expansión

Presión antes de la expansión [barg]	Temperatura media [°C]	Entalpía [kJ/kg]	Presión tras la expansión [barg]	Temperatura media [°C]	Entalpía, agua hirviendo [kJ/kg]	Entalpía, vapor saturado [kJ/kg]	Cantidad de vapor de expansión [%]
20.0	215.0	918.7	10.0	184.4	781.7	2 779.7	6.86
	Temperatura media [°C]	Entalpía [kJ/kg]	Presión tras la expansión [barg]	Temperatura media [°C]	Entalpía, agua hirviendo [kJ/kg]	Entalpía, vapor saturado [kJ/kg]	Cantidad de vapor de expansión [%]
	165.0	696.8	0.2	103.5	433.9	2 680.2	11.70
<b>Entrada</b>	<b>Resultado</b>						

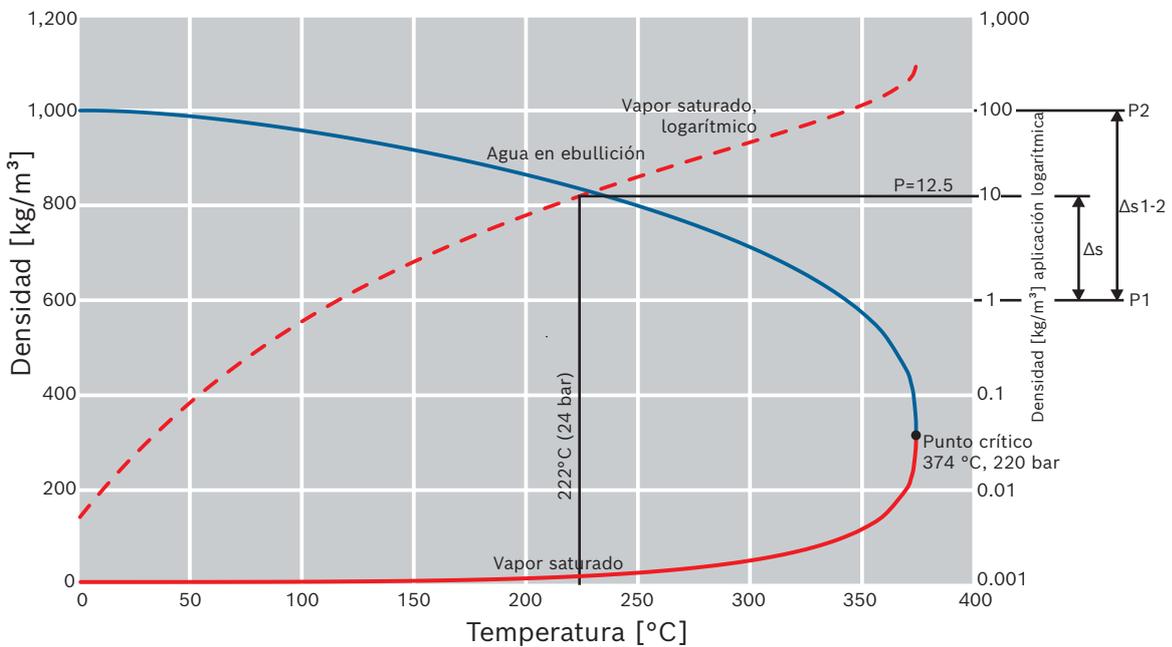


**Fig. 232** Vapor de expansión

Ejemplo:

Si se reduce la presión de 20 a 10 bar, se genera una cantidad de vapor de expansión del 6.86 %.

### 4.3 Densidad



**Fig. 233** Densidad del vapor saturado y del agua en función de la temperatura

- Agua en ebullición
- - - Vapor saturado, logarítmico
- Vapor saturado

### 4.3.1 Lectura de gráficos logarítmicos

Cálculo de distancias y valores numéricos

#### Ejemplo, densidad del vapor saturado

##### Del valor a la distancia en el gráfico

Primer punto de la escala logarítmica  
 Segundo punto de la escala logarítmica  
 Distancia entre los dos puntos  
 Punto requerido  
 Distancia entre P1 y P

$$\Delta s = \frac{(\ln(P) - \ln(P_1))}{\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}$$

##### De la distancia en el diagrama al valor

Primer punto de la escala logarítmica  
 Segundo punto de la escala logarítmica  
 Distancia entre los dos puntos  
 Punto requerido  
 Distancia entre P1 y P

$$P = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\Delta s}{\Delta s_{1-2}}} \cdot P_1$$

Unidades del ejemplo <sup>1)</sup>:

P1	1	kg/m <sup>3</sup>
P2	100	kg/m <sup>3</sup>
$\Delta s_{1-2}$	27.1	mm
P	12.5	kg/m <sup>3</sup>
$\Delta s$	14.85	mm

P1	1	kg/m <sup>3</sup>
P2	100	kg/m <sup>3</sup>
$\Delta s_{1-2}$	27.1	mm
P	12.5	kg/m <sup>3</sup>
$\Delta s$	14.85	mm

1) La conversión puede aplicarse a todos los diagramas logarítmicos independientemente de las unidades



## 5 Sistemas de vapor

### 5.1 Potencia de vapor y de combustión de la caldera

		Entrada	Resultado
$\dot{Q}_{\text{boi}} \approx \dot{m}_s \cdot 0,65$			
Producción de vapor	<b>10,501</b> Kg/h	Entalpía, agua hirviendo	<b>829</b> kJ/kg
Presión media de funcionamiento	<b>13</b> bar	Entalpía, vapor saturado	<b>2 788</b> kJ/kg
Temperatura del agua de alimentación	<b>103</b> °C	Entalpía, agua de alimentación	<b>432</b> kJ/kg
$\dot{Q}_{\text{boi}} = \dot{m}_s \cdot (h'' - h_{\text{FW}}) \cdot \frac{1\text{h}}{3\,600\text{s}}$			
Potencia térmica de la caldera	<b>6 872</b> KW	Rendimiento de la caldera (combustión)	<b>92.0</b> %
$\dot{Q}_{\text{bu}} = \frac{\dot{Q}_{\text{boi}}}{\eta_{\text{bu}}}$			
Potencia de combustión	<b>7 470</b> KW	Poder calorífico neto del combustible	<b>10.35</b> kWh/kg (kWh/m <sup>3</sup> n)
$\dot{m}_F = \frac{\dot{Q}_{\text{bu}}}{H_i}$			
Cantidad de combustible	<b>721.7</b> kg/h (m <sup>3</sup> n/h)		

### 5.2 Purga de superficie y purga de fondo

		Entrada	Resultado
<b>Parámetros del agua</b>			
		En el agua de reposición	$L_{\text{MW}}$ <b>15</b>
		Tasa de acumulación de condensado	$c$ <b>90</b> %
En el agua de alimentación (mediante análisis del agua)	$L_{\text{FW}}$ <b>50</b>	En el agua de alimentación	$L_{\text{FW}} \approx L_{\text{MW}} \cdot (1-c)$ <b>1,500</b>
Valor límite del agua de caldera	$L_{\text{boi}}$ <b>2,000</b>	Valor límite del agua de caldera	$L_{\text{boi}}$ <b>2,000</b>
$a = \frac{L_{\text{FW}}}{L_{\text{boi}} - L_{\text{FW}}}$			
Tasa de purga superficial requerida	<b>2.6</b> %	Tasa de purga superficial requerida	<b>0.1</b> %
Purga superficial requerida	<b>269.3</b> Kg/h	Purga superficial requerida	<b>7.9</b> Kg/h
Del cual 5 % mediante purga de fondo	<b>13.5</b> Kg/h	Del cual 5 % mediante purga de fondo	<b>0.4</b> Kg/h
Absoluto	<b>59</b> KW	Absoluto	<b>2</b> KW
% de potencia de la caldera	<b>0.9</b> %	% de potencia de la caldera	<b>0.0</b> %

## 5.3 Fórmula de altura

	Entrada		Resultado
<b>Fórmula internacional de la altura</b>			
Altura	Presión	Temperatura	Densidad
300 m	0.97773 bar	13.05 °C	1.191 kg/m <sup>3</sup>
$p(h) = p_0 \cdot \left(1 - \frac{0.0065 \frac{K}{m} \cdot h}{T}\right)^{\frac{K}{K-1}} = 1.01325 \text{ bar} \cdot \left(1 - \frac{0.0065 \frac{K}{m} \cdot h}{288.15 \text{ K}}\right)^{5.255}$			
$T(h) = 15 - 0.0065 \frac{K}{m} \cdot h$			
$\rho = 1.293 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{p}{1.01325 \text{ bar}}$			
Densidad estándar, aire $\rho = 1.293 \text{ kg/m}^3$ a 0 °C y 1.01325 bar			
<b>Con conversión de temperatura</b>			
Altura	Presión	Temperatura	Densidad
300 m	0.97773 bar	40.00 °C	1.089 kg/m <sup>3</sup>

## 5.4 Tuberías

### 5.4.1 Dimensiones

Espesores de pared de tubos para bridas soldadas (EN 1092-1:2013-04)

válvula	PN 2.5	PN 6	PN 10	PN 16	PN 25	PN 40	PN 63	PN 100
∅	Sp	Sp	Sp	Sp	Sp	Sp	Sp	Sp
17.2	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
21.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
26.9	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.6	2.6
33.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
42.4	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.9	2.9
48.3	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.9	2.9
60.3	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	3.2
76.1	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	3.2	3.6
88.9	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.6	4.0
114.3	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	4.0	5.0
139.7	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.5	6.3
168.3	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	5.6	7.1
219.1	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	7.1	10.0
273.0	6.3	6.3	6.3	6.3	7.1	7.1	8.8	12.5



<b>válvula</b>	<b>PN 2.5</b>	<b>PN 6</b>	<b>PN 10</b>	<b>PN 16</b>	<b>PN 25</b>	<b>PN 40</b>	<b>PN 63</b>	<b>PN 100</b>
<b>Ø</b>	<b>Sp</b>	<b>Sp</b>	<b>Sp</b>	<b>Sp</b>	<b>Sp</b>	<b>Sp</b>	<b>Sp</b>	<b>Sp</b>
323.9	7.1	7.1	7.1	7.1	8.0	8.0	11.0	14.2
355.6	7.1	7.1	7.1	8.0	8.0	8.8	12.5	16.0
406.4	7.1	7.1	7.1	8.0	8.8	11.0	14.2	
457	7.1	7.1	7.1	8.0	8.8	12.5		
508	7.1	7.1	7.1	8.0	10.0	14.2		
610	7.1	7.1	7.1	8.8	11.0	16.0		
711	7.1	7.1	8.0	8.8	12.5			
813	7.1	7.1	8.0	10.0	14.2			
914	7.1	7.1	10.0	10.0	16.0			
1 016	7.1	7.1	10.0	10.0	17.5			
1 219	7.1	8.0	11.0	12.5				
1 422	7.1	8.0	12.5	14.2				
1 626	8.0	9.0	14.2	16.0				

**Tab. 61** Extracto de la tabla A.1 de la norma EN 1092-1:2013-0 - Espesor de pared para el tipo 11

- A Ø** Diámetro exterior
- Sp** Espesor de pared
- PN** Etapa de presión nominal

Extracto de la tabla A.1 de la norma EN 1092-1:2013-0

### 5.4.2 Presión y temperatura nominales<sup>1)</sup>

Los valores nominales de presión y temperatura de las bridas se basan en los grupos de materiales. Los siguientes materiales y grupos son habituales en el ámbito de las calderas de vapor:

Grupo de materiales	Descripción	Número de material
<b>3E0</b>	Aceros no aleados con características de resistencia garantizadas a temperaturas más elevadas	1.0352 P245 GH
		1.0460 P250 GH
<b>3E1</b>	Aceros no aleados con características definidas hasta 400 °C, límite elástico superior > 265 N/mm <sup>2</sup>	1.0426 P280 GH
<b>4E0</b>	Aceros de baja aleación con 0.3 % de molibdeno	1.5415 16Mo3
<b>12E0</b>	Contenido estándar de carbono, estabilizado con Ti o Nb	1.4541 X6CrNiTi18-10
		1.4550 X6CrNiNb18-10
		1.4941 X6CrNiTiB18-10
<b>15E0</b>	Contenido estándar de carbono, aleado con molibdeno, estabilizado con Ti o Nb	1.4571 X6CrNiMoTi17-12-2
		1.4580 X6CrNiMoNb17-12-2

**Tab. 62** Asignación presión-temperatura

1) Fuente: EN 1092-1:2013-04 Table 9, G.2.2, G.3.2, Tabla D.1

#### Advertencias relativas a las siguientes tablas y diagramas:

- De acuerdo con la norma de bridas EN 1092-1:2013-04
- Sólo se asume como valor de referencia para el espesor **vR**; el rango inferior y, por tanto, las presiones más altas; puede ser necesario utilizar presiones admisibles **PS** más bajas para dimensiones de brida mayores y, por tanto, materia prima más gruesa
- Cuando se utilizan materiales austeníticos, las diferenciaciones no sólo se hacen en el grupo de materiales, sino también a veces en el material individual. Posteriormente se utilizan los materiales estándar:
  - 12E0 > 1.4541
  - 15E0 > 1.4571
- **RT** (temperatura ambiente) = - 10 °C ... 50 °C
- Se utilizará la interpolación lineal entre los valores de la tabla
- **PN** etapa de presión nominal
- **PS** presión admisible [bar]
- **TS** temperatura admisible [°C]





**PN 10**

TS [°C]		RT	100	150	200	250	300	350	400	450	460	470	480	490	500	510	520	530
	<b>3E0</b>	10.0	9.2	8.8	8.3	7.6	6.9	6.4	5.9	3.2	-	-	-	-	-	-	-	-
PS [bar]	<b>3E1</b>	10.0	10.0	10.0	10.0	9.7	8.8	8.0	7.3	4.0	-	-	-	-	-	-	-	-
	<b>4E0</b>	10.0	10.0	10.0	10.0	9.7	8.5	8.0	7.4	6.9	6.4	5.9	5.4	4.9	4.4	3.5	2.8	2.2

**Tab. 63** Extracto de la tabla G.2.1-3 - PN 10 para materiales ferríticos

TS [°C]		RT	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	560	570	580	590	600
	<b>12E0</b>	10.0	9.9	9.3	8.8	8.4	7.9	7.6	7.4	7.2	7.0	6.7	6.1	5.6	5.0	4.5	4.0
PS [bar]	<b>15E0</b>	10.0	10.0	9.8	9.3	8.8	8.3	8.0	7.8	7.6	7.5	7.4	7.4	7.3	6.7	6.0	5.5

**Tab. 64** Extracto de la tabla G.4.1-3 - PN 10 para materiales austeníticos

**PN 16**

TS [°C]		RT	100	150	200	250	300	350	400	450	460	470	480	490	500	510	520	530
	<b>3E0</b>	16.0	14.8	14.0	13.3	12.1	11.0	10.2	9.5	5.2	-	-	-	-	-	-	-	
PS [bar]	<b>3E1</b>	16.0	16.0	16.0	16.0	15.6	14.0	12.9	11.8	6.4	-	-	-	-	-	-	-	
	<b>4E0</b>	16.0	16.0	16.0	16.0	15.6	13.7	12.9	11.9	11.0	10.2	9.4	8.6	7.8	7.0	5.6	4.4	3.5

**Tab. 65** Extracto de la tabla G.2.1-4 - PN 16 para materiales ferríticos

TS [°C]		RT	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	560	570	580	590	600
	<b>12E0</b>	16.0	15.8	14.9	14.1	13.4	12.7	12.2	11.8	11.6	11.3	10.8	9.8	8.9	8.1	7.3	6.5
PS [bar]	<b>15E0</b>	16.0	16.0	15.6	14.9	14.1	13.3	12.8	12.4	12.2	12.0	11.9	11.8	11.7	10.7	9.7	8.8

**Tab. 66** Extracto de la tabla G.2.1-4 - PN 16 para materiales ferríticos

**PN 25**

TS [°C]		RT	100	150	200	250	300	350	400	450	460	470	480	490	500	510	520	530
	<b>3E0</b>	25.0	23.2	22.0	20.8	19.0	17.2	16.0	14.8	8.2	-	-	-	-	-	-	-	
PS [bar]	<b>3E1</b>	25.0	25.0	25.0	25.0	24.4	22.0	20.2	18.4	10.1	-	-	-	-	-	-	-	
	<b>4E0</b>	25.0	25.0	25.0	25.0	24.4	21.4	20.2	18.6	17.2	16.0	14.7	13.5	12.3	11.0	8.8	7.0	5.5

**Tab. 67** Extracto de la tabla G.2.1-5 - PN 25 para materiales ferríticos

TS [°C]		RT	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	560	570	580	590	600
	<b>12E0</b>	25.0	24.7	23.3	22.1	21.0	19.8	19.1	18.5	18.1	17.7	16.9	15.3	14.0	12.7	11.4	10.2
PS [bar]	<b>15E0</b>	25.0	25.0	24.5	23.3	22.1	20.8	20.1	19.5	19.1	18.8	18.6	18.5	18.3	16.7	15.2	13.8

**Tab. 68** Extracto de la tabla G.2.1-5 - PN 25 para materiales ferríticos

**PN 40**

TS [°C]	RT	100	150	200	250	300	350	400	450	460	470	480	490	500	510	520	530
<b>3E0</b>	40.0	37.1	35.2	33.3	30.4	27.6	25.7	23.8	13.1	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>PS [bar]</b>	<b>3E1</b>	40.0	40.0	40.0	40.0	39.0	35.2	32.3	29.5	16.1	-	-	-	-	-	-	-
	<b>4E0</b>	40.0	40.0	40.0	40.0	39.0	34.2	32.3	29.9	27.6	25.6	23.6	21.6	19.7	17.7	14.0	11.2

**Tab. 69** Extracto de la tabla G.2.1-6 - PN 40 para materiales ferríticos

TS [°C]	RT	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	560	570	580	590	600	
<b>12E0</b>	40.0	39.6	37.3	35.4	33.7	31.8	30.6	29.7	29.0	28.3	27.0	24.5	22.4	20.3	18.2	16.3	
<b>PS [bar]</b>	<b>15E0</b>	40.0	40.0	39.2	37.3	35.4	33.3	32.1	31.2	30.6	30.0	29.9	29.6	29.3	26.8	24.3	22.0

**Tab. 70** Extracto de la tabla G.2.1-6 - PN 40 para materiales ferríticos

**PN 63**

TS [°C]	RT	100	150	200	250	300	350	400	450	460	470	480	490	500	510	520	530
<b>3E0</b>	63.0	58.5	55.5	52.5	48.0	43.5	40.5	37.5	20.7	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>PS [bar]</b>	<b>3E1</b>	63.0	63.0	63.0	63.0	61.5	55.5	51.0	46.5	25.5	-	-	-	-	-	-	-
	<b>4E0</b>	63.0	63.0	63.0	63.0	61.5	54.0	51.0	47.1	43.5	40.3	37.2	34.1	31.0	27.9	22.2	17.7

**Tab. 71** Extracto de la tabla G.2.1-7 - PN 63 para materiales ferríticos

TS [°C]	RT	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	560	570	580	590	600	
<b>12E0</b>	63.0	62.4	58.8	55.8	53.1	50.1	48.3	46.8	45.7	44.7	42.6	38.7	35.4	32.1	28.8	25.8	
<b>PS [bar]</b>	<b>15E0</b>	63.0	63.0	61.8	58.8	55.8	52.5	50.7	49.2	48.3	47.4	47.1	46.6	46.2	42.3	38.4	34.8

**Tab. 72** Extracto de la tabla G.2.1-7 - PN 63 para materiales ferríticos

**5.4.3 Velocidad de flujo**

Medio	Ámbito de aplicación	Velocidad recomendada
<b>Vapor</b>	0...1 bar	20...25 m/s
	1...40 bar	30...40 m/s
<b>Agua</b>	Línea de aspiración	0.4 (0.25...0.6) m/s
	Línea de presión	2 (1.5...3) m/s
<b>Condensado</b>	Fracción de vapor	15 m/s
	Fracción de agua	2 m/s
<b>Gases de combustión</b>		16.5 m/s



Medio	Ámbito de aplicación	Velocidad recomendada
<b>Aceite</b>	Lado de entrada de aceite combustible ligero	0.5 m/s
	Lado de descarga de aceite ligero	1 m/s
	Toma de aceite pesado	0.3 m/s
	Descarga de aceite pesado	0.5 m/s
<b>Gas natural</b>		Sin especificaciones. Diseño mediante pérdida de presión

**Tab. 73** Velocidades de diseño estándar (velocidades recomendadas) para el dimensionamiento de tuberías

#### 5.4.4 Pérdida de carga - valores orientativos del coeficiente de pérdida de carga $\zeta$

##### Válvula de cierre, servoválvula, válvula de mariposa

DN	Válvula Kvs			Coeficiente de pérdida de carga $\zeta$ <sup>1)</sup>		
	Válvula de cierre	Servoválvula	Válvula de mariposa	Válvula de cierre	Servoválvula	Válvula de mariposa
15	5.3	4	–	2.9	5.1	0.9
20	7.2	6.3	–	4.9	6.4	2.4
25	12	10	26	4.3	6.2	1.7
32	16	16	26.5	6.5	6.5	0.7
40	28.5	25	49.6	5	6.5	0.4
50	43	40	116	5.4	6.2	0.5
65	75	63	259	5.1	7.2	0.3
80	105	100	377	5.9	6.5	0.4
100	170	160	763	5.5	6.2	0.3
125	270	250	1,030	5.3	6.2	0.2
150	405	400	1,790	4.9	5.1	0.2
200	675	–	3,460	5.6	–	0.2
250	1,090	–	5,070	5.2	–	0.2
300	1,460	–	7,430	6.1	–	0.2
350	2,010	–	10,320	5.9	–	0.3
400	2,640	–	13,290	5.9	–	0.2

**Tab. 74** Válvula de cierre, servoválvula, válvula de mariposa

1) El coeficiente de pérdida de carga  $\zeta$  es relativo al diámetro nominal DN

**Válvula antirretorno de brida intermedia, válvula antirretorno, colector de suciedad**

DN	Válvula Kvs			Coeficiente de pérdida de carga $\zeta$ <sup>1)</sup>		
	Válvula antirretorno de brida intermedia	Válvula antirretorno	Trampa de suciedad	Válvula antirretorno de brida intermedia	Válvula antirretorno	Trampa de suciedad
15	4.4	5.7	6.9	4.2	2.5	1.7
20	7.1	7.8	10.8	5.1	4.2	2.2
25	12	11.8	17.8	4.3	4.5	2.0
32	19.5	17.9	26.1	4.4	5.2	2.5
40	25	27.5	36.7	6.5	5.4	3.0
50	46	48	61	4.7	4.3	2.7
65	69	77.6	98.6	6.0	4.7	2.9
80	87	109	146	8.7	5.5	3.1
100	122	168	234	10.7	5.7	2.9
125	–	251	376	–	6.2	2.8
150	–	389	394	–	5.3	5.2
200	–	664	652	–	5.8	6.0
250	–	1,017	1,225	–	6.0	4.2
300	–	1,446	1,873	–	6.2	3.7
350	–	2,042	–	–	5.8	–
400	–	2,725	–	–	5.5	–
500	–	4,167	–	–	5.8	–

**Tab. 75** Válvula antirretorno de brida intermedia, válvula antirretorno, colector de suciedad

1) El coeficiente de pérdida de carga  $\zeta$  es relativo al diámetro nominal DN

**Pérdida de presión del vapor de agua y otros gases:**

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{2 \cdot p_1} = \lambda \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{\rho \cdot u^2}{2} \quad \text{with isothermal flow } T_2 = T_1$$

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{2 \cdot p_1} = \zeta \cdot \frac{\rho \cdot u^2}{2} \quad \text{with isothermal flow } T_2 = T_1$$


**F39.** Pérdida de carga del vapor de agua y otros gases con flujo isotérmico

- p<sub>1</sub>** Presión aguas arriba de la sección de la tubería [Pa]
- p<sub>2</sub>** Presión aguas abajo de la sección de tubería [Pa]
- λ** Coeficiente de fricción de la tubería
- l** Longitud de la tubería [m]
- d** Diámetro de la tubería [m]
- ζ** Coeficiente de pérdida de carga



Para calcular la pérdida de presión hasta el consumidor  $\zeta =$

- $\zeta$  extracción de vapor → Tab. 74 Válvula de cierre, servoválvula, válvula de mariposa, página 411
- +  $\zeta$  prórroga/disponibilidad por regla general, tras la extracción con vapor
- +  $n$  codo ·  $\zeta$  codo Valor orientativo  $\zeta_{90^\circ \text{ elbow}} \approx 0.5$
- +  $\lambda \cdot \frac{l}{d}$
- +  $\zeta$  válvulas
- +  $\zeta$  entrada del consumidor si procede (puede no tenerse en cuenta como norma)



- $\rho$  Densidad del fluido en  $\text{kg/m}^3$
- $u$  Velocidad media a la entrada de la tubería
- $T_1$  Temperatura del fluido a la entrada de la tubería
- $T_2$  Temperatura del medio a la entrada de la tubería

Normalmente, la desviación con respecto al flujo adiabático puede despreciarse.

### Pérdida de carga de los líquidos

#### Conversión del valor $K_v$ , el coeficiente de pérdida de carga $\zeta$ y el coeficiente de caudal $C_v$ .

Conversión del valor  $K_v$  de una válvula en coeficiente de pérdida de carga  $\zeta$ :

$$\zeta = 2 \cdot \frac{A^2}{\left(\frac{K_v}{3,600}\right)^2} \cdot 100 = 2 \cdot \frac{\left(\frac{\pi}{4} \cdot d_i^2\right)^2}{\left(\frac{K_v}{3,600}\right)^2} \cdot 100$$



**F40.** Conversión del valor  $K_v$  de una válvula en coeficiente de pérdida de carga  $\zeta$

Conversión del coeficiente de pérdida de carga  $\zeta$  de una válvula al  $K_v$  válvula:

$$K_v = \frac{A \cdot 3\,600}{\sqrt{\frac{\zeta}{2 \cdot 100}}} = \frac{\frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \cdot 3\,600}{\sqrt{\frac{\zeta}{2 \cdot 100}}}$$



**F41.** Conversión del coeficiente de pérdida de carga  $\zeta$  de una válvula al  $K_v$  válvula

Conversión del valor  $C_v$  (coeficiente de caudal) en sistemas métricos al valor  $K_v$ :

$$K_v = C_v \cdot 0.865$$



**F42.** Conversión del valor  $C_v$  (coeficiente de caudal) en sistemas métricos al valor  $K_v$

## 5.5 Identificación

### 5.5.1 Tuberías

En Alemania, las tuberías se identifican según la norma DIN 2403: debe fijarse a intervalos adecuados en los puntos críticos para el funcionamiento o peligrosos y contener los siguientes elementos:

- Flecha de flujo
- Material de flujo (palabra, fórmula química, número o código de identificación)
- Pictograma de peligro, si procede (por ejemplo, con gases/líquidos combustibles, ácidos y álcalis)

→ Herramientas – Capítulo 5.5.2: Sustancias peligrosas, página 415

Material de flujo	Grupo	Color del grupo	Color adicional	Color de las letras, flechas y bordes
<b>Agua</b>	1	Verde	-	Blanco
<b>Vapor de agua</b>	2	Rojo	-	Blanco
<b>Aire</b>	3	Gris	-	Negro
<b>Gases combustibles</b>	4	Amarillo	Rojo	Negro
<b>Gases no combustibles</b>	5	Amarillo	Negro	Negro
<b>Ácidos</b>	6	Naranja	-	Negro
<b>Álcalis</b>	7	Violeta	-	Blanco
<b>Líquidos y sólidos combustibles</b>	8	Marrón	Rojo	Blanco
<b>Líquidos y sólidos no inflamables</b>	9	Marrón	Negro	Blanco
<b>Oxígeno</b>	0	Azul	-	Blanco

**Tab. 76** Identificación de tuberías según DIN 2403

Color de grupo/color adicional	Colores de identificación según DIN 5381
Verde	RAL 6032 verde señal
Rojo	RAL 3001 rojo señal
Gris	RAL 7004 gris señal
Amarillo	RAL 1003 amarillo señal
Naranja	RAL 2010 naranja señalización
Violeta	RAL 4008 violeta señal
Marrón	RAL 8002 marrón señal
Azul	RAL 5005 azul señal
Negro	RAL 9004 negro señal
Blanco	RAL 9003 blanco señal

**Tab. 77** Colores de identificación según DIN 5381



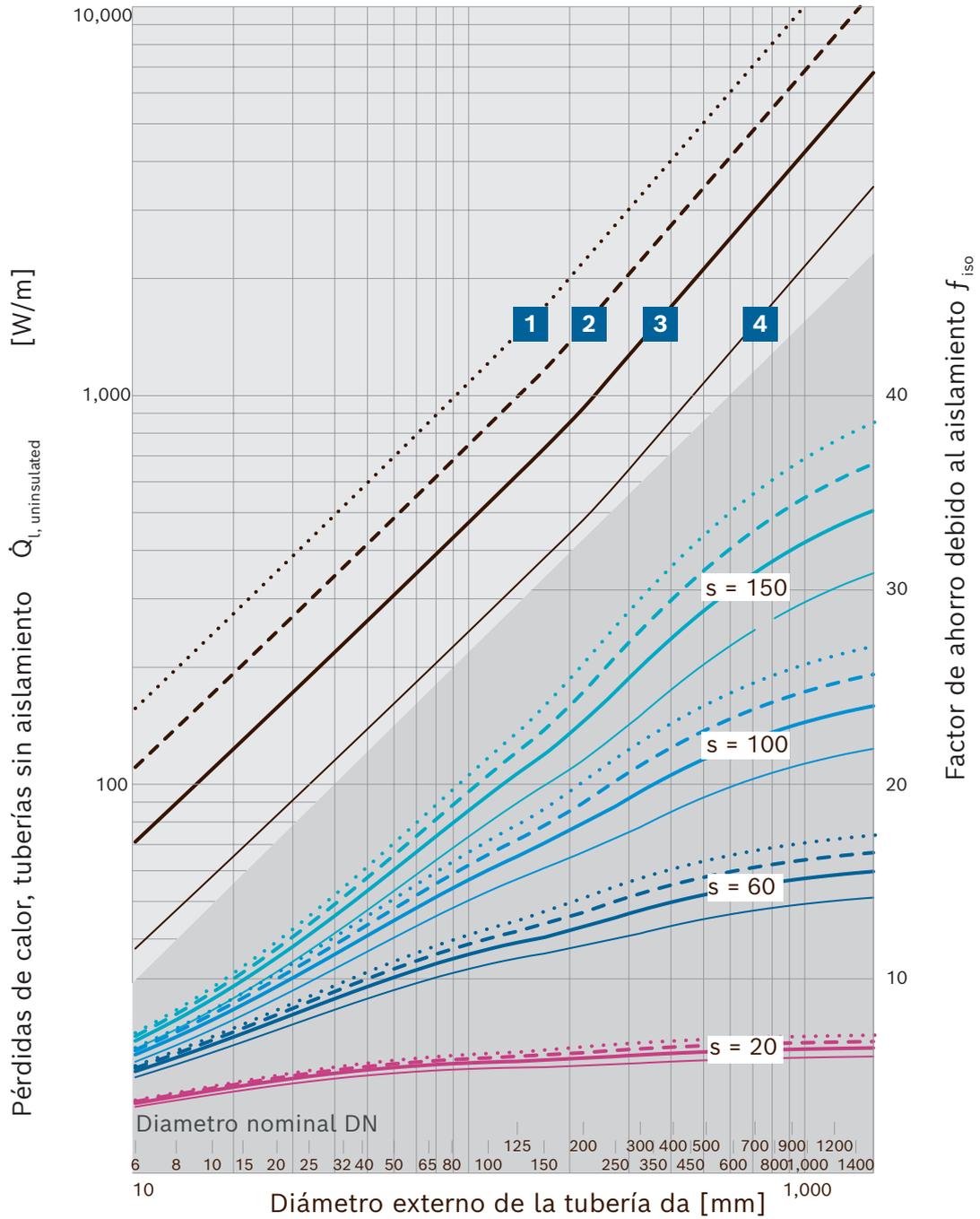
### 5.5.2 Sustancias peligrosas

Los símbolos de peligro (identificación de sustancias peligrosas) deben aplicarse de acuerdo con el reglamento europeo CLP.

El Reglamento (CE) nº 1272/2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas (Reglamento CLP) adapta la normativa legal de la UE al Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación e Identificación de Productos Químicos (SGA).

## 5.6 Pérdidas de calor

### 5.6.1 Tuberías y válvulas



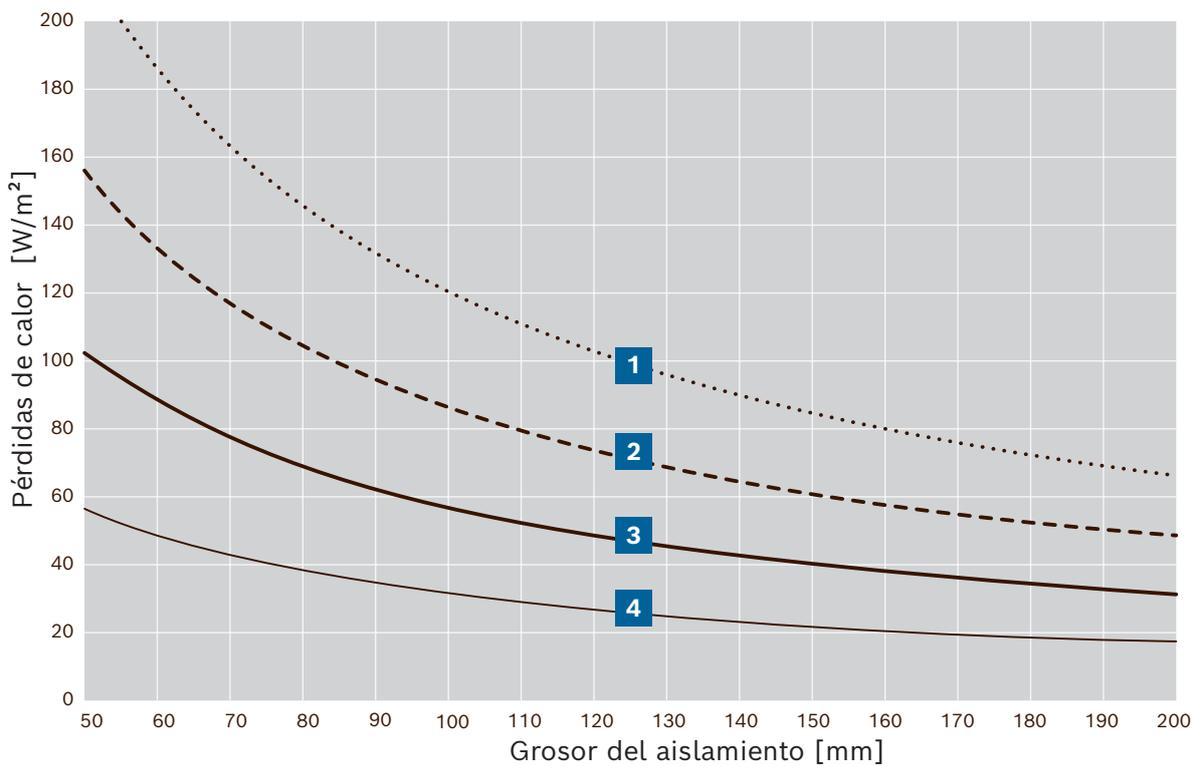
**Fig. 234** Factor de ahorro debido al aislamiento y las pérdidas de calor en las tuberías



- |  |   |
|--|---|
| <b>1</b> Temperatura media: 250 °C (·····)   |  Grosor del aislamiento s = 150 mm |
| <b>2</b> Temperatura media: 200 °C (- - - -) |  Grosor del aislamiento s = 100 mm |
| <b>3</b> Temperatura media: 150 °C (— — —)   |  Grosor del aislamiento s = 60 mm  |
| <b>4</b> Temperatura media: 100 °C (— — —)   |  Grosor del aislamiento s = 20 mm  |

→ Eficiencia Capítulo 4.1.2: Aislamiento de tuberías, página 289

### 5.6.2 Contenedor



**Fig. 235** Pérdida de calor a través de la zona aislada del recipiente o de la superficie de la caldera

- 1** Temperatura media 250 °C
- 2** Temperatura media 200 °C
- 3** Temperatura media 150 °C
- 4** Temperatura media 100 °C

## 5.7 Sonido

### Adición de niveles de presión sonora

$$L_{p, \text{tot}} = 10 \cdot \text{LOG}_{10} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{p,i}}{10}}$$



**F43.** Fórmula para calcular el nivel sonoro total

### Evaluación de frecuencias y nivel de presión sonora

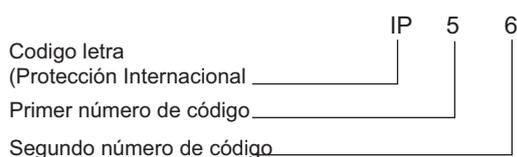
	Entrada										Resultado
	Frecuencia f [Hz]										Σ
	31.5	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	16,000	
<b>dB(A)</b>	-39.4	-26.2	-16.1	-8.6	-3.2	0	1.2	1	-1.1	-6.6	
<b>dB(C)</b>	-3	-0.8	-0.2	0	0	0	-0.2	-0.8	-3	-8.5	
<b>dB</b>	109.2	112.7	118.2	112.2	100.6	97.3	83.1	67.7	63.7		120.5
<b>dB(A)</b>	69.8	86.5	102.1	103.6	97.4	97.3	84.3	68.7	62.6	-6.6	107.1
<b>dB(C)</b>	106.2	111.9	118	112.2	100.6	97.3	82.9	66.9	60.7	-8.5	120.0



## 6 Otros

### 6.1 Clasificación IP de las carcasas

De acuerdo con EN 60529 (VDE 0470-1):2014-09



#### Primer número de código

	Contra la penetración de cuerpos extraños sólidos:	Contra el acceso a partes peligrosas con:
<b>0</b>	(no protegido)	(no protegido)
<b>1</b>	≥ 50 mm de diámetro	Dorso de la mano
<b>2</b>	≥ 12.5 mm de diámetro	Dedo
<b>3</b>	≥ 2.5 mm de diámetro	Herramienta
<b>4</b>	≥ 1.0 mm de diámetro	Alambre
<b>5</b>	A prueba de polvo	Alambre
<b>6</b>	Hermético al polvo	Alambre

**Tab. 78** Clasificación IP de las carcasas - primer número de código

#### Segundo número de código

<b>0</b>	(no protegido)
<b>1</b>	Goteo vertical
<b>2</b>	Goteo (inclinación 15°)
<b>3</b>	Agua pulverizada
<b>4</b>	Salpicadura de agua
<b>5</b>	Chorro de agua
<b>6</b>	Chorro de agua fuerte
<b>7</b>	Inmersión temporal
<b>8</b>	Inmersión continua
<b>9</b>	Alta presión y alta temperatura del chorro de agua

**Tab. 79** Clasificación IP de las carcasas - segundo número de código



# Índice

## A

Agua	
Agua bruta (agua dulce)	361
Agua de reposición	36, 39, 41, 43
Agua desionizada (agua, completamente desmineralizada)	185
Agua dulce	86, 178
Agua suave	177
Agua completamente desmineralizada	185
Agua desmineralizada	177
Agua sin dureza	177, 199, 204, 361
Agua parcialmente desmineralizada	177, 184
Acumulador de vapor	194, 344
Aislamiento	39, 287, 292, 294

## B

BCO (control de caldera)	169, 170, 367
Bombas	89, 162, 164, 350
Bombas de alimentación de calderas	88, 160

## C

Cadena de seguridad	127, 129, 168
Calidad de agua	86, 125, 175, 203, 233, 357
Calor	
Calentamiento de vapor	36, 40, 43, 278, 280
Calor solar	305
Calor residual	226, 309, 336
Recuperación de calor residual	333
Calderas	
Caldera de recuperación de calor	61, 119, 144, 226, 303, 304, 309, 322
Caldera de vapor	170, 309, 384

Caldera tubular de doble llama	117, 157, 266
Cámaras	
Cámara de combustión	143
Cámara de inversión	87
Cantidad de vapor	122, 130, 160
Carga	
Carga base	303
Carga completa	250
Carga máxima	335
Cavitación	89, 221
Circuito de agua	39
Circuito de vapor	36, 346
Cogeneración	303
Combustible	53, 56, 57, 74, 129, 130, 133, 135, 140, 141, 243, 248, 270, 391
Combustión (estequiométrica)	270
Componentes	125, 133, 309
Componentes del cuarto de calderas	59, 33
Condensados	
Condensado de alta presión	200, 284, 345
Condensados sin oxígeno (condensados de alta presión)	200
Conductividad	126, 128, 203
Control	121, 126, 168, 172, 206, 207, 271, 272, 295, 309, 367
Control de caldera (BCO)	28, 169, 367
Control de secuencia de calderas	74, 194, 295
Control CO	271
CSC (Control compacto de calderas de vapor)	172, 369
Control de aceite	271
Consumo de energía	338
Cuarto de calderas	51, 168, 175, 176

## **D**

Desaireación	43
Desaireación completa	187, 281
Desaireación parcial	189, 190
Desaireación térmica	185
Demanda	40

Demineralización	181, 282
Depósito de agua de alimentación	37, 43, 92, 125
Diámetro nominal	80, 211, 212
Diferencia de temperatura	247, 287
Diseño	30, 32, 47, 55, 57, 62, 104, 160, 178, 211, 227, 273, 295
Dosificación (química)	88, 125, 190, 284
Drenaje	78, 219

## **E**

Economizador	93, 148, 261
Economizador integrado	149
Economizador independiente	151
Eficiencia	241, 243, 245, 246, 270, 380
Emisión	67
Entalpía	110
Estándares	59, 63, 226
Equipamiento de combustión	133, 137, 142
Evacuación de agua	175, 191, 192
Exceso de aire	249, 250, 270, 272
Expansión térmica	217, 218
Extracción de aire	61, 75

## **F**

Flujo de retorno de condensados	40, 41, 42
Fuelóleo	53, 54, 56, 133
Fuelóleo ligero	137, 212
Fuelóleo pesado	53, 140
Fluctuaciones de carga	91, 192

## **G**

Gas	53, 55, 141
Gas natural	55, 56
Grado de utilización anual	253, 287
Generación de energía	296
Gestión de la energía	296
Golpe de ariete	77, 220
Golpe de ariete de vapor (condensado)	91, 127, 219

Grosor del aislamiento	252, 289
Guías	63, 68

## I

Inmisión	67
Instalación	51, 59, 61, 77, 94
Intercambiadores	
Intercambiador de calor	37, 48, 77, 140
Intercambiador de calor de condensación	152, 263, 264
Intercambiador de calor de gases de combustión (Economizador)	148, 152, 352, 353, 354
Intercambiador de iones	179, 180

## L

Legislación	63
-------------	----

## M

Mantenimiento	299
Mantenimiento del calor	50, 145
Mantenimiento remoto (MEC Remote)	208, 297, 374
Materiales	263, 408
MEC Optimize	85, 297, 371
MEC Remote	374
MEC System	209, 373
Modbus	206, 370
Modo de funcionamiento	130
bajo en sal	45
salino	45
sin sal	41
Módulo de refrigeración de agua de alimentación	267, 356
Monitoreo de condición	171, 296, 367

## O

Operación	85
Modo de operación	73, 85, 312
Condiciones de operación	180
Costos de operación	50, 258, 312, 317, 322, 327

## P

Pérdidas	
Pérdidas de calor	39, 145, 193, 251, 287
Pérdidas de radiación	30
Pérdidas de vapor de expansión	39
Permeado (agua, parcialmente desmineralizada)	183, 184
Planeación	17, 73
Principio de 3 pasos	327
Potencia	35, 36, 47
Potencia de calderas	49, 50, 51, 272
Potencia del quemador	91, 273
Pre calentamiento	
Pre calentamiento de aceite	140
Pre calentamiento de aire	135, 148, 154, 265
Presión	27, 109, 389, 397
Presión de ebullición	397
Presión de funcionamiento	295
Presión de funcionamiento máxima permisible	31, 51, 65, 214
Presión de funcionamiento reducida	30
Presión de vapor	193
Presión promedio de funcionamiento	27, 28
Pre ventilación	273
Productos	306
Profibus	168, 206
Protocolos del sistema de automatización	206
Puentes térmicos	292
Punto de ebullición	187, 273, 397
Purga	
Purga de fondo	40, 127, 160, 191, 245, 264, 297
Purga de superficie	35, 126, 160, 191, 264

## Q

Quemador	
Quemador duobloque	135
Quemador monobloque	134
Quemador de gasóleo a presión	137

## **R**

Rango de control	49, 55
Recuperación de calor	39, 41, 124, 164, 187, 268, 277
Regulaciones	63, 68, 298
Requisitos de agua de reposición	42, 305

## **S**

Sala de instalación de calderas	59
Salida de vapor	35, 73
Salida de calor	37, 38, 42, 246
Servicio	298
Sistemas	
Sistema de automatización	167
Sistema de combustión	129, 133
Sistema de control SCO	204, 206, 207, 209, 309, 357, 361, 367, 370
Sistema de quemadores	270
Sistemas de condensados	39, 92, 203, 284, 345
Sistemas de vapor	32, 112, 196, 405
Sobrecalentador	157–238, 331
Sobreenfriamiento de condensados	38
Suavizador	179, 180, 204
Suministro de aire	61, 75, 94
Suministro de caldera	361

## **T**

Tanque de condensados	39, 204, 284
Tasa purga de superficie	181, 182, 277, 282
Transmisión	67
Tratamiento de agua	175, 177, 190
• Térmico	253
• Químico	88, 125, 190
Temperatura	389, 397
Tipos de vapor	103
Tuberías	406, 414, 416
Tuberías de condensados	105, 199, 222, 288
Tuberías de vapor	39, 77, 219

---

Tubo de humo	234, 235, 313
Tubo de llama	116, 179, 234
Tubo de purga de la válvula de seguridad	79, 82, 224

## **U**

Unidad CHP (unidad combinada de calor y energía)	61, 119, 144, 226
Uso propio	40

## **V**

Valor calorífico bruto	243
Válvula de seguridad	128, 224, 225
Vapor	
Vapor de escape	43, 80, 280, 350
Vapor de expansión	39, 106, 284, 402
Vapor de alta presión	106, 305
Vapor humedo	104
Vapor saturado	104, 403



---

## Referencias

I)		
IWO – Instituto de Tecnología de Calefacción y Petróleo, 2017		54
II), III)		
Oficina Federal de Estadísticas – datos sobre las tendencias de los precios de la energía, 2018		56, 57
IV)		
Autoridad de Inspección Técnica de Renania (TÜV Rheinland), 2016		64
V)		
Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH (Hrsg.), Citas para gerentes: más de 2.600 adagios que comunican claramente su mensaje, 2018, p. 106		72
VI)		
Asociación Federal de la Industria Alemana de la Calefacción 2007		300

**Bosch Industriekessel GmbH**

Nuernberger Strasse 73  
91710 Gunzenhausen  
Alemania  
Tel. +49 9831 56-253  
Fax +49 9831 56-92253  
sales@bosch-industrial.com  
Service Hotline +49 180 5667468\*  
Spare Parts Hotline +49 180 5010540\*

**info@bosch-industrial.com**  
**www.bosch-industrial.com**  
**www.bosch-industrial.com/YouTube**

\* 0,14 euros/min. desde teléfonos fijos alemanes; la tarifa más alta en móviles es de 0,42 euros/min.

Los costes de las llamadas desde redes móviles y las llamadas internacionales pueden variar.

© Bosch Industriekessel GmbH | Las ilustraciones son sólo ejemplos |  
Sujeto a revisiones | 01/2024 | TT/MKT-CH\_es\_Planungshandbuch\_Dampf\_01

Damos las gracias a Dreizler, Grundfos, GWT - Gesellschaft für Wasser- und Verfahrenstechnik mbH (Asociación de ingeniería de aguas y procesos), Saacke, TÜV Süd y Weishaupt por su amabilidad al facilitarnos las imágenes.

Diseño: TANNER AG, Lindau (B.)/Karlsruhe



