



Informe técnico

Dipl.-Ing. Hardy Ernst
Dipl.-Wirtschaftsing. (FH), Dipl.-Informationswirt (FH)
Markus Tuffner, Bosch Industriekessel GmbH



BOSCH

Innovación para tu vida

Principios de planificación para la generación óptima de vapor y calor

El ahorro de energía y la reducción de emisiones no solo son el objetivo de nuestro políticos, sino también el de cualquier explotador de calderas por su propio interés. Los modernos sistemas de generación de energía y las efectivas instalaciones para la recuperación de calor permiten reducir las pérdidas al mínimo.

No obstante, con demasiada frecuencia los factores de influencia dinámicos no se tienen en cuenta. En este informe, se trata la reducción de los costes de inversión y funcionamiento para los generadores de vapor y calor en la industria y los ayuntamientos hasta una potencia de 55 t/h o 38 MW/unidad.

Programas de calentamiento en lugar de calderas de gran tamaño

El cálculo cuidadoso de cantidad de calor/vapor es la base de cualquier mejora. Las unidades dimensionadas con mayor potencia para cubrir picos de arranque inusuales, funcionan en fases de carga baja mediante la frecuente conexión y desconexión del quemador, lo que a menudo resulta poco rentable y perjudicial para el medio ambiente. Gracias a los programas de arranque y calentamiento controlados por consumo, en los que se distingue temporalmente entre consumidores de alta y baja prioridad, el generador de calor puede dimensionarse con una potencia menor. De este modo, aumenta al mismo tiempo el campo de regulación para la salida rentable de las fases de carga baja.

La separación de vapor de producción y calefacción de edificios reduce los costes de funcionamiento

El consumidor de calor con el nivel máximo de temperatura y presión es determinante para la presión de diseño del generador de calor. Con una presión de diseño creciente, aumentan los costes del sistema completo. Por ello, por lo general resulta poco rentable cubrir al mismo tiempo la calefacción de edificios con el sistema de generación de calor de alta presión con fines productivos. El bajo nivel de temperatura y la demanda de calor fuera de los tiempos de producción justifican una generación de calor independiente. A esto se añade el ahorro de los costes mediante la ausencia de control y vigilancia en sistemas con temperaturas máximas de 110 °C.

En determinadas circunstancias, incluso es razonable asignar un solo generador de vapor a un único consumidor con una potencia extremadamente alta y una cantidad de calor proporcionalmente más pequeña.

Una carga pequeña extrema requiere la división de la potencia total

Junto a la seguridad de suministro, la amplitud existente entre el menor y el mayor consumo de calor es la causa de que la potencia total se divida en varias unidades. La baja demanda de potencia se sitúa con frecuencia por debajo de la carga mínima de una unidad, por lo que resulta razonable dividir la potencia adaptándola a la carga baja. De este modo, se evita el funcionamiento de conexión y desconexión del quemador, que provoca grandes pérdidas y perjudica el medio ambiente, así como el desgaste prematuro. En los sistemas de gran tamaño, el límite de potencia de los generadores de calor determina el número de unidades. Lo ideal es dividir la potencia total en unidades con la misma estructura. La reducción del almacenamiento de piezas de repuesto y la capacidad de intercambiar las piezas es razón suficiente para ello. Solo será necesario utilizar una unidad de carga pequeña adaptada cuando no pueda garantizarse un funcionamiento rentable con carga mínima con la unidad más pequeña hallada de este modo.

Las calderas con dos hogares de combustión resultan más económicas para las grandes demandas de potencia

La potencia de las calderas con un solo hogar de combustión está limitada por normas y por sus posibilidades constructivas.

Bosch Industriekessel construye calderas de un solo hogar de combustión hasta potencias de aprox. 19 MW o 28 t/h. Para potencias totales que no puedan alcanzarse con una caldera, con frecuencia, utilizar una caldera con dos hogares de combustión resulta más económico que varias calderas de un solo hogar de combustión. La reducción de los gastos de instalación, mantenimiento y comprobación es motivo suficiente.

Calderas con dos hogares de combustión para el funcionamiento individual de ambos quemadores

En la mayoría de las centrales de suministro de calor, es necesario adaptar dinámicamente la carga al consumo altamente cambiante. Por ello, deben utilizarse calderas con dos hogares de combustión adecuadas y autorizadas para el funcionamiento individual ilimitado

del quemador. Estas calderas con dos hogares de combustión no solo están equipadas con conductos de gas de humo independientes, sino que además han sido especialmente diseñadas para las cargas en „funcionamiento de un solo hogar de combustión“. Los quemadores están equipados de forma completamente autosuficiente y se pueden utilizar individualmente o en paralelo. Mediante la conexión y desconexión automática de los quemadores en función de la demanda de calor con conexión en secuencia, todas las calderas disponen automáticamente de un campo de regulación desde la carga mínima de un quemador hasta la carga máxima de ambos quemadores.

De este modo, el campo de regulación modulante se multiplica por dos y la frecuencia de conmutación de los quemadores se reduce a la mitad en caso de carga baja.

La alimentación continua de combustible a través de un amplio campo de regulación garantiza un proceso de transmisión de calor ininterrumpido y la circulación dinámica continua del agua de la caldera. Si se avería un quemador, seguirá disponible el 50% de la potencia de caldera (figura 1).

La combinación óptima de caldera y quemador aumenta los beneficios del cliente sin coste alguno

Para una demanda de calor determinada, el fabricante de calderas ofrece distintas combinaciones de caldera y quemador en función de las necesidades del cliente. Para encontrar la combinación de caldera y quemador que más beneficios proporcione al cliente, es necesario investigar las opciones posibles. La tabla 1 compara dos tipos de caldera para una demanda de calor de 1800 kW, 90/70 °C, con calefacción por gas natural.

Al utilizar UT-L 16, el tipo de caldera inmediatamente más grande, con una potencia calorífica máxima de 2000 kW, el cliente obtiene grandes beneficios gracias a las siguientes ventajas:

- ▶ Uso de un quemador más pequeño
- ▶ Valor de conexión del motor del quemador más pequeño
- ▶ Mayor campo de regulación del quemador
- ▶ Menor frecuencia de conmutación del quemador con carga baja
- ▶ Mayor rendimiento de la caldera
- ▶ Menor consumo de combustible
- ▶ Menor cantidad nociva de NO_x en el gas de escape
- ▶ Menos costes de inversión, puesto que el valor añadido de la caldera se compensa con el precio reducido del quemador

Figura 1: Caldera de tres pasos con tubo de humos y dos hogares de combustión, vías de gas de humo independientes para el funcionamiento individual del quemador y economizador integrado para la calefacción del agua de alimentación

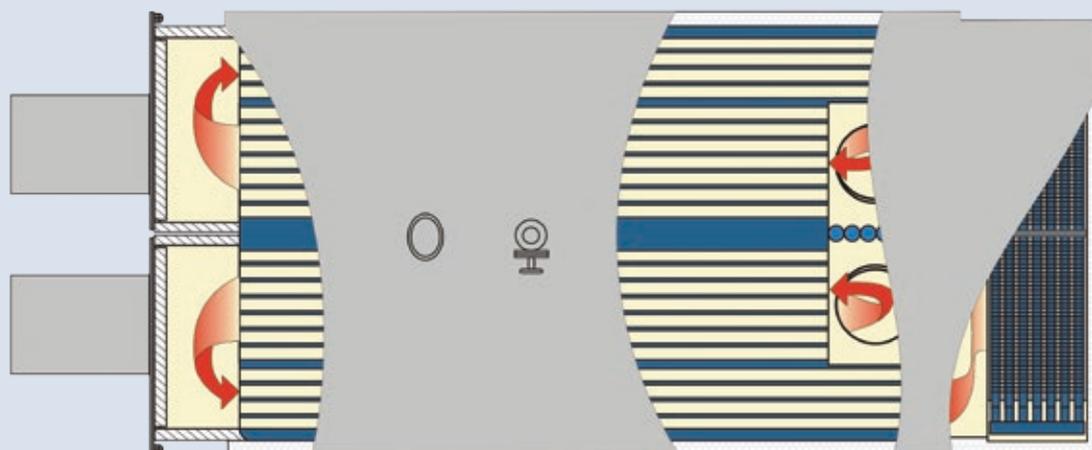
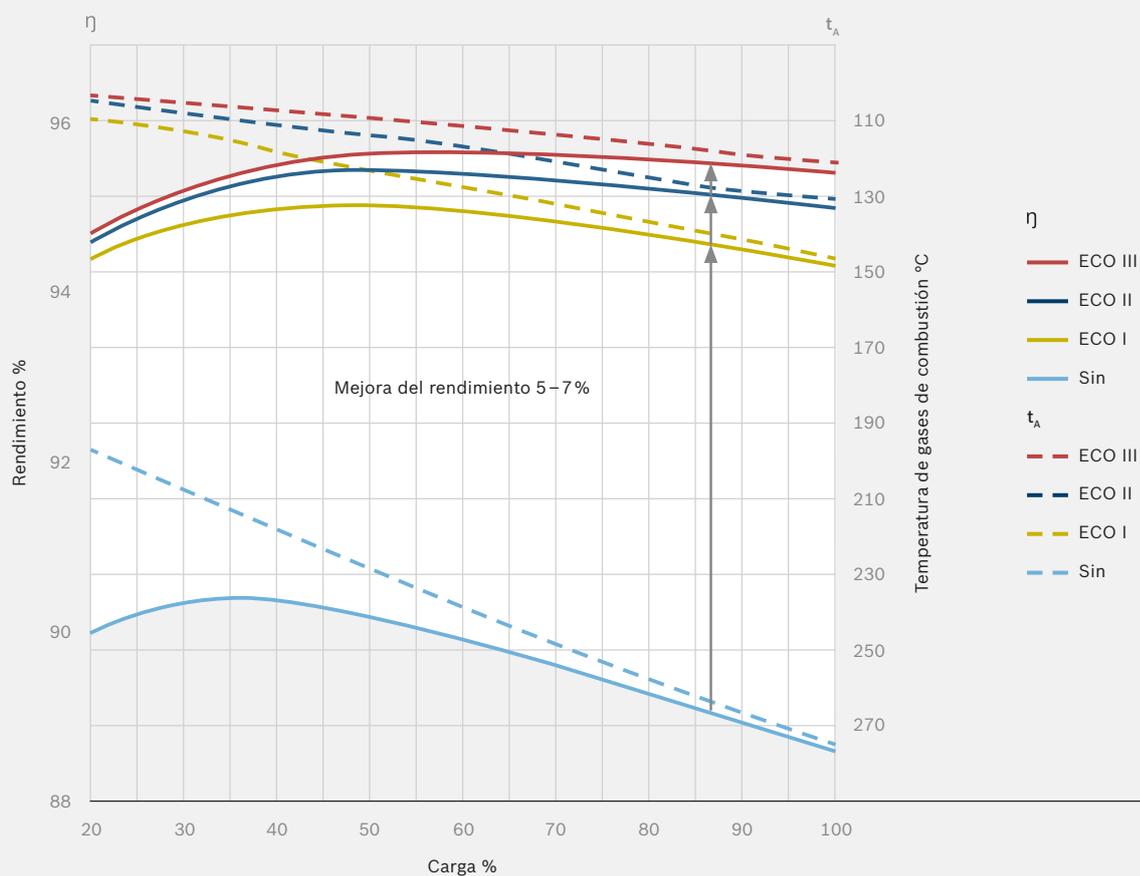


Tabla 1: Comparación de dos combinaciones de caldera y quemador

Combinación de caldera de calefacción y quemador	A	B
Tipo caldera UT-L	14	16
Potencia nominal kW	1800	1800
Potencia máxima kW	1900	2000
Resistencia de caldera mbar	7,5	5
Modelo de quemador requerido G	9	20
Motor del quemador kW	6,5	3
Campo de regulación del quemador	1 : 3,9	1 : 5,6
Rendimiento de la caldera %	91,14	92,37
Cantidad de combustible m ³ /h	191	188
Carga de hogar esp. MW/m ³	1,77	1,08
Contenido de NOx en gas de escape mg/m ³	150	130
Costes de inversión		
Caldera + quemador de gas %	100	93,2

La elección del tipo de caldera inmediatamente más grande no siempre permite el uso de un quemador pequeño. Por ello, se recomienda investigar también en varias unidades otras posibilidades para la leve reducción de potencia de calefacción, especialmente en la división de la potencia de calefacción total de sistemas de varias calderas.

Gráfico 1: Optimización de potencia posible mediante intercambiador de calor de gases de escape para funcionamiento „en seco“

Ganar dinero con intercambiadores de calor de gases de escape

El uso de un intercambiador de calor de gases de escape ofrece una oportunidad ideal para ahorrar energía y mejorar la protección medioambiental.

Intercambiador de calor de gases de escape para funcionamiento „en seco“

Por lo general, los generadores de vapor se alimentan con agua de alimentación completamente desgasificada a temperaturas de 103 °C aprox. La temperatura del gas de escape a la salida de la caldera se rige por la temperatura del agua de caldera y de la carga de caldera correspondiente. Para optimizar la potencia, el calor del gas de escape se introduce en el agua de alimentación a través de un economizador situado en la corriente de salida.

En las calderas de vapor UNIVERSAL ULS (sistema de un solo hogar de combustión hasta 28 t/h) y ZFR (sistema de dos hogares de combustión hasta 55 t/h) con intercambiador de calor de gases de escape integrado, el economizador está integrado en la cámara de gas de escape térmicamente aislada y está montado de fábrica, listo para conexión, de conformidad con las medidas de transporte permitidas. Esto elimina la necesidad de cimientos adicionales y montaje in situ. En caso de reequipamiento, el intercambiador de calor de gases de escape ECO Stand Alone puede colocarse y conectarse directamente por detrás de la caldera.

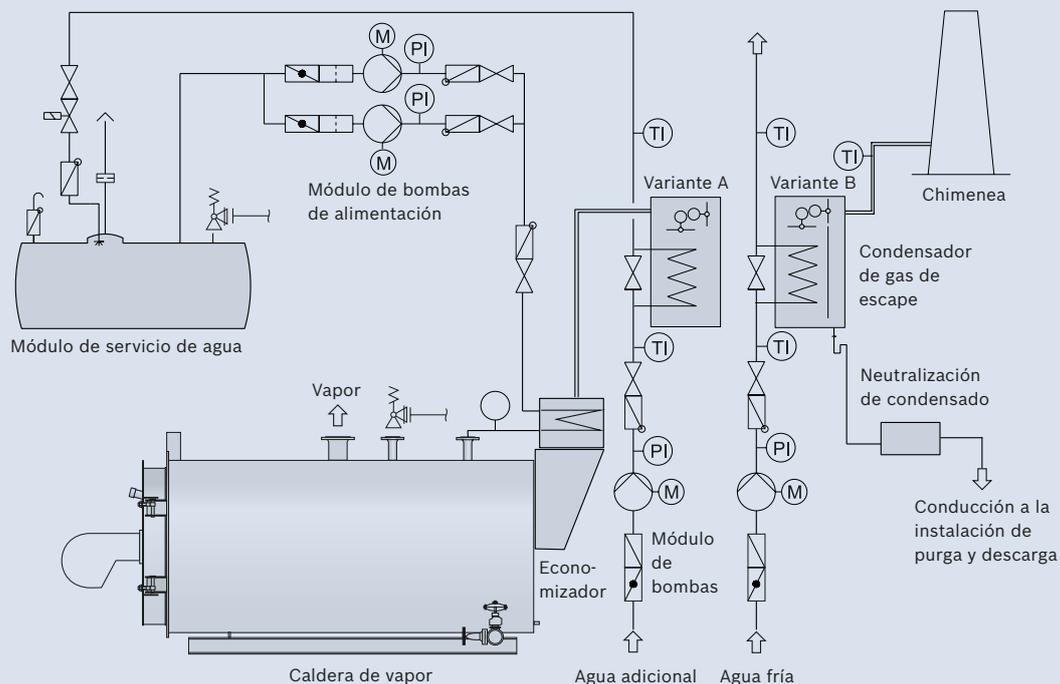
El modo de funcionamiento „en seco“ está previsto para el gasóleo y el gas natural, también en combinación con chimeneas sensibles a la humedad. Con un regulador de la temperatura del gas de escape se puede evitar que no se alcance el punto de condensación. Los economizadores con carcasas, canales de escape y eventuales silenciadores de escape se pueden fabricar con acero. Los economizadores para el funcionamiento „en seco“ permiten alcanzar rendimientos de caldera por encima de un 95% (gráfico 1).

Por lo general, los generadores de agua caliente de alta presión para sistemas de proceso o calefacción remota funcionan a temperaturas de retorno de sistema de más de 100 °C, de modo que también se pueden utilizar intercambiadores de calor de gases de escape para el funcionamiento „en seco“. En la mayoría de los casos, se deriva una parte de la corriente del retorno a través del intercambiador de calor de gases de escape.

Los sistemas ECO para generadores de agua caliente de alta presión están integrados en la cámara de gas de escape de las calderas nuevas y se pueden instalar directamente por detrás de la caldera en caso de reequipamiento. De forma opcional, se pueden equipar con un dispositivo de regulación de temperatura por el lado del agua y/o por el lado del gas, con el fin de evitar que no se alcance el punto de condensación en el sistema ECO y/o en la chimenea.

Los generadores de agua caliente para la calefacción directa de edificios funcionan con el nivel de temperatura más bajo posible. En función de la temperatura de avance y retorno de caldera y la amplitud entre ambas, el agua de la caldera alcanza temperaturas entre 60–100 °C. Con las calderas de funcionamiento rentable se pueden alcanzar temperaturas de gas de escape en la salida de la caldera entre 160–190 °C a plena carga y entre 120–150 °C con carga pequeña. Las calderas de calefacción de edificios solo funcionan a máxima potencia algunos días al año. Las horas de servicio anuales más altas se sitúan en el rango de carga medio y bajo. Los rendimientos de la caldera alcanzables en estos rangos de carga parcial son ya del 93–94%. Un intercambiador de calor de gases de escape adicional para el funcionamiento „en seco“ reduce la temperatura del gas de escape hasta 75 °C y garantiza un aumento ulterior del rendimiento hasta el 98%.

Figura 2: Generador de vapor con funcionamiento de dos fases – Economizador/condensador de gas de escape; Ahorro de combustible de hasta un 15%
 Economizador: precalentador de agua de alimentación de caldera para funcionamiento „en seco“
 Condensador de gas de escape: precalentador de agua industrial/adicional para funcionamiento „húmedo“



Intercambiador de calor de gases de escape para funcionamiento „húmedo“

Los generadores de calor calentados por gas natural producen gas de escape sin hollín ni azufre. Además, ahora también está disponible como combustible el gasóleo de bajo contenido en azufre (índice de azufre máximo 50 ppm = 0,005% del peso), que alcanza una combustión sin residuos similar al gas natural. Con estos gases de escape, el calor de condensación se puede utilizar adicionalmente como potencia de calefacción.

Los generadores de vapor industriales utilizan un segundo intercambiador de calor de acero inoxidable como condensador de gases de escape además del economizador para el funcionamiento „en seco“ para la calefacción del agua de alimentación. Los canales de gas de escape siguientes también se equipan con acero inoxidable y conductos de condensado resistentes a la corrosión. El requisito para aplicar condensación de gas de escape es disponer de consumidores de baja temperatura. Ejemplo: en funcionamientos productivos de calor intenso con consumidores de vapor directos, sin retorno de condensado, es posible calentar agua adicional tratada químicamente y/o generar o precalentar agua industrial (figura 2).

Para los generadores de agua caliente de alta presión, no puede aplicarse la condensación de gas de escape, ya que las temperaturas de retorno de la red están claramente por encima del punto de condensación.

Los generadores de agua caliente con calefacción por gas natural o calefacción con gasóleo de bajo contenido en azufre, se pueden equipar también con intercambiadores de calor de gases de escape para el funcionamiento „húmedo“ con el fin de optimizar la potencia (figura 3). Los circuitos de calefacción a baja temperatura se introducen a través de intercambiadores de calor de gases de escape de acero inoxidable y producen la condensación del gas de escape.

En función de la temperatura de retorno, el rendimiento de la caldera puede aumentar hasta más del 105% en lo que respecta al valor calorífico inferior del combustible (gráfico 2). En caso de calefacción opcional con un quemador binario de gas y gasóleo, el intercambiador de calor de gases de escape se equipa con un bypass por el lado del gas de escape y una válvula de regulación para evitar el intercambiador de calor si el gasóleo contiene azufre.

Eliminación de condensado

Tomando el valor pH como grado de acidez para los líquidos, el condensado de gas de escape tiene un valor pH de entre 2,8 a 4,9 a partir de la combustión de gas natural, y entre 1,8 y 3,7 a partir de la combustión de gasóleo de bajo contenido en azufre. La temperatura del condensado se sitúa en un rango de temperatura de 25–55 °C. Para la neutralización, se utilizan filtros con relleno dolomítico renovable en los sistemas pequeños, y recipientes con dosificadores de sosa alcalina en los sistemas grandes. En caso de seleccionar y dimensionar correctamente la instalación de neutralización, se pueden cumplir los valores admitidos para la introducción en la red pública de aguas residuales. La autoridad competente deberá autorizar esta introducción.

Sistemas de varias calderas con conexión en secuencia optimizada

El diseño del sistema de varias calderas ofrece la posibilidad de aumentar la rentabilidad total y optimizar la potencia. A modo de ejemplo, se representa un sistema de varias calderas para la calefacción de edificios. En comparación con un sistema de caldera individual, aquí se exigen altos requisitos para la conexión hidráulica y de regulación técnica.

Figura 3: Caldera de agua caliente con tubo de humos y un solo hogar de combustión con diseño de tres pasos e intercambiador de calor de gases de escape

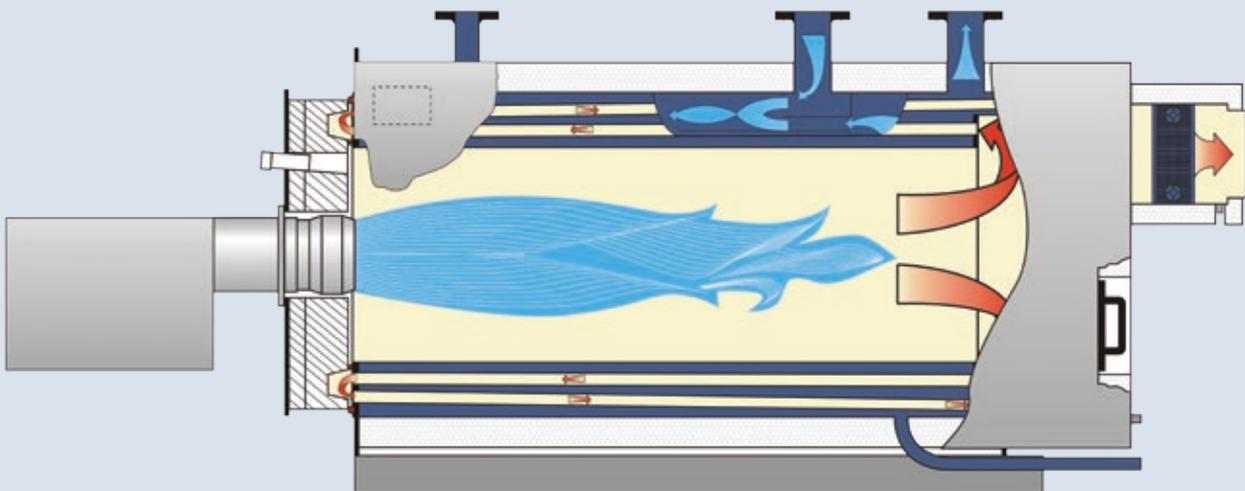
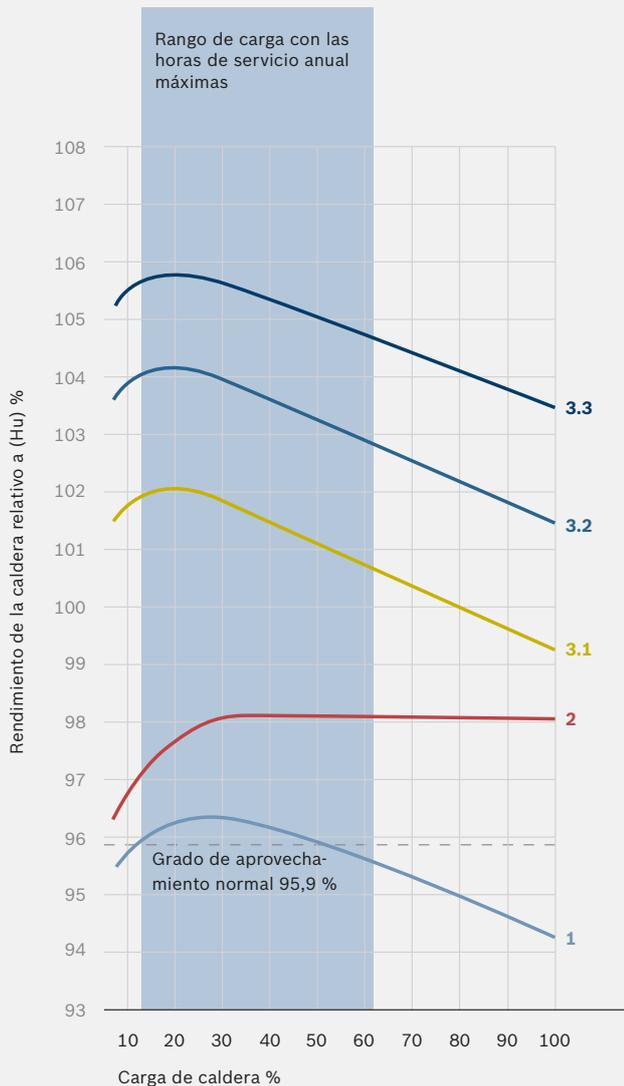


Gráfico 2: Curvas de rendimiento para calderas de agua caliente UNIMAT en avance/retorno de caldera 70/50 °C



- 1 Caldera sin intercambiador de calor de gases de escape
- 2 Caldera con intercambiador de calor de gases de escape para „funcionamiento en seco“
- 3 Caldera con intercambiador de calor de gases de escape para „utilización del poder calorífico“
- 3.1 Temperatura de entrada de agua 50 °C
- 3.2 Temperatura de entrada de agua 40 °C
- 3.3 Temperatura de entrada de agua 30 °C

Regulación del circuito de calefacción

Los consumidores requieren la mejor adecuación posible a la demanda de calor correspondiente con la máxima seguridad de suministro. La mejor forma de proporcionar cantidad calorífica variable es utilizar caudales volumétricos constantes y temperaturas variables. Para ello, se instalan mezcladores de tres vías en los circuitos de calefacción para introducir agua de retorno en el caudal de alimentación. La regulación de temperatura de avance del circuito de calefacción, que opera en función de las condiciones atmosféricas, influye en los accionadores de los mezcladores de tres vías y suministra a los consumidores la temperatura del medio de calefacción que se está solicitando para obtener una cantidad calorífica suficiente.

Regulación del circuito de la caldera

Las calderas de agua caliente requieren prioritariamente el mantenimiento de una temperatura mínima de retorno para garantizar que se alcance el punto de condensación. Para ello, en los circuitos de caldera se instalan, por ejemplo, mezcladores de tres vías para introducir agua de avance en el retorno (mantenimiento de la temperatura de retorno a un nivel alto). La cantidad calorífica que se debe generar mediante una o varias calderas de agua caliente aumenta o se reduce en función de la temperatura exterior, la temperatura de avance del sistema y la amplitud entre la temperatura de avance y la temperatura de retorno del sistema.

Si la cantidad calorífica de la caldera principal no es suficiente, se activan la bomba del circuito de caldera y el quemador de la caldera siguiente en la secuencia. En primer lugar, la caldera siguiente se calienta en el circuito de caldera a la temperatura mínima de retorno. A continuación, se emite calor a través de los mezcladores de tres vías en el caudal de alimentación del sistema (figura 4). Cuando se requiere menos calor, se reduce la potencia del quemador. Para evitar conmutaciones frecuentes, el quemador se conecta y desconecta con retardo de tiempo (fases).

Caudales volumétricos

Con la conmutación hidráulica de este sistema de varias calderas, se dan distintos caudales volumétricos: primarios, mediante las regulaciones del circuito de caldera, y secundarios, mediante las regulaciones del circuito de calefacción; ambos tipos influyen el uno sobre el otro. A través de un lado primario y secundario „rígido“ conectado en serie, el caudal volumétrico primario puede aproximarse a cero, p. ej., mediante la entrada del mezclador del circuito de calefacción, de modo que no se puede dar respuesta a la demanda de un caudal volumétrico mínimo para la caldera de agua caliente ni a la carga permanente del sensor de avance para la secuencia de caldera.

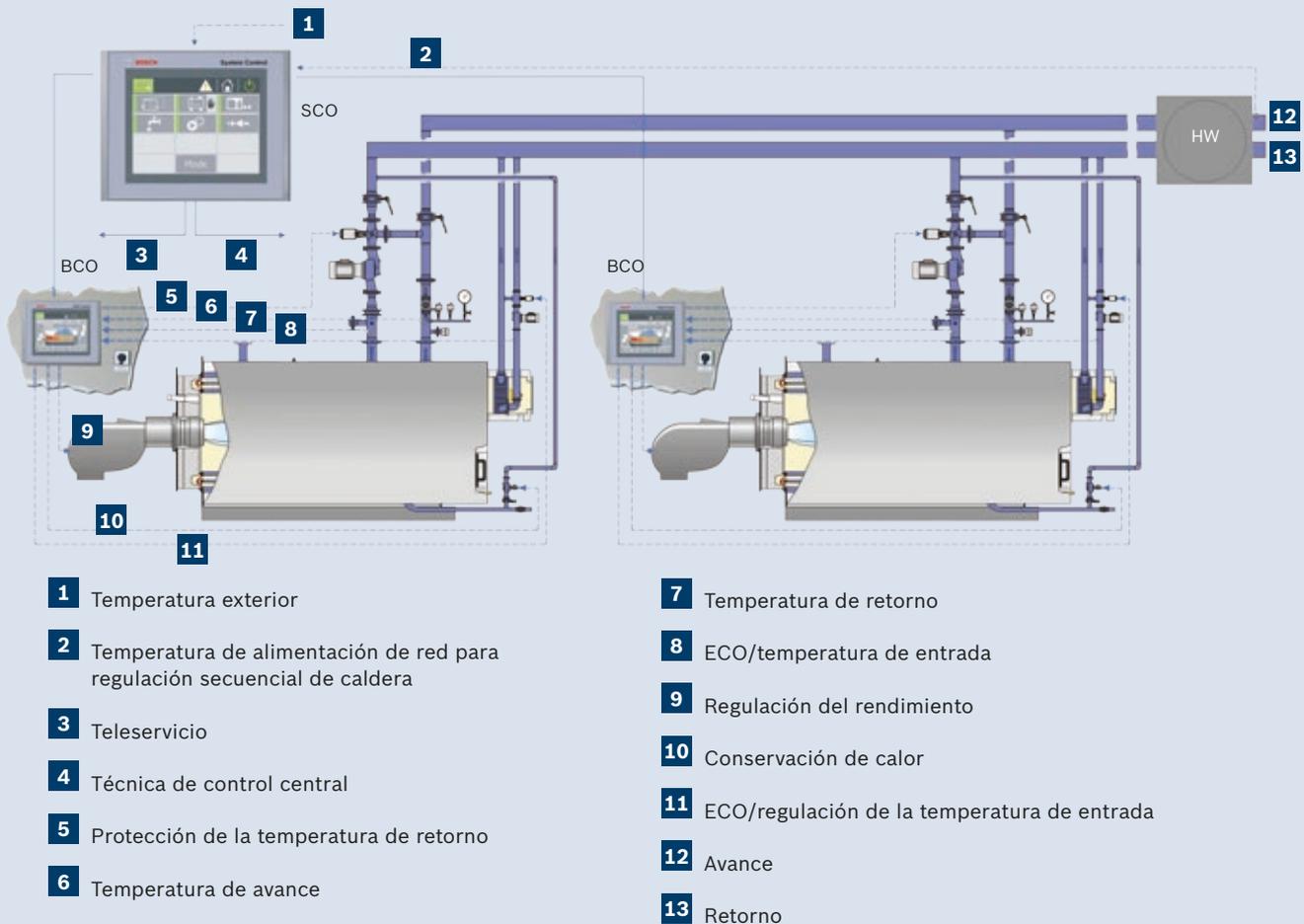
Depósito de equilibrado hidráulico

Una solución completamente fiable para este problema consiste en utilizar un depósito de equilibrado hidráulico. Con él, los caudales volumétricos del lado primario y secundario se desacoplan completamente de forma hidráulica y se evita una influencia recíproca. Disponiendo el sensor de avance común en la salida secundaria, se asegura la carga del sensor con la primera demanda de calor. Las calderas que no se encuentran en funcionamiento se bloquean hidráulicamente según el reglamento de sistemas de calefacción. Todas las calderas están sometidas a un caudal volumétrico aproximadamente constante. Las bombas del circuito de caldera deben dividirse conforme a las potencias nominales de la caldera de agua caliente. Su caudal total debe corresponder a un valor 1,1 veces mayor como mínimo y 1,5 mayor como máximo que el caudal volumétrico total del circuito de calefacción.

Regulación

El funcionamiento seguro y la capacidad de optimización de un sistema de varias calderas requiere el uso de un sistema de regulación potente. Además de cumplir las tareas de regulación adecuadas, se debe lograr un consumo de energía lo más bajo posible, que perjudique el medio ambiente lo menos posible. El sistema de regulación debe ser capaz de conectar en secuencia el sistema de calderas en función de las condiciones atmosféricas (regulado a la temperatura de avance de la red o dependiendo de la cantidad calorífica). Para ello, la regulación de circuito de caldera correspondiente asumirá el control de las calderas de agua caliente, así como la regulación y la conexión o desconexión de los quemadores y las bombas del circuito de caldera. Un sistema bus común permite el intercambio de datos continuo de cada uno de los controles de caldera BOILER CONTROL (BCO) hacia el sistema de gestión superior SYSTEM CONTROL (SCO), de modo que el sistema puede ponerse en marcha automáticamente cumpliendo los máximos requisitos.

Figura 4: Sistema de calderas de agua caliente que opera en función de las condiciones atmosféricas, con depósito de equilibrado hidráulico



Resumen

La optimización de potencia empieza con la captación a fondo de los parámetros de potencia: cantidad calorífica, presión y temperatura. Destaca la importancia de la demanda de carga alta y baja. De acuerdo con esto, se produce la división en varias unidades de caldera con potencia adaptada. La cuestión de la separación de calor de producción de calefacción es decisiva.

En caso de grandes potencias, el uso de calderas con tubo de humos y dos hogares de combustión ofrece ventajas de optimización para el funcionamiento individual de los dos quemadores. La caldera y el quemador deben considerarse como unidades funcionales, de modo que el fabricante de calderas pueda determinar cuál es la combinación óptima de caldera y quemador en función de la demanda. Dependiendo de los combustibles disponibles, se pueden utilizar distintos sistemas de recuperación del calor de gas de escape.

La máxima optimización de potencia se consigue aprovechando la condensación del gas de escape. Los sistemas de varias calderas ofrecen múltiples posibilidades para la optimización de la potencia gracias al uso de controles programables. Las calderas de agua caliente puede ponerse en marcha con el máximo grado de utilización en función de las condiciones atmosféricas si se selecciona del modo correspondiente la conmutación hidráulica.

El planificador de sistemas dispone de múltiples posibilidades para realizar sistemas de generación de calor con optimización de potencia. Es necesario reflexionar detalladamente y de forma individual con un balance material y energético de distintas opciones.



Las instalaciones de producción:
Terrenos de la fábrica 1 Gunzenhausen
Bosch Industriekessel GmbH
Nürnberger Straße 73
91710 Gunzenhausen
Alemania

Terrenos de la fábrica 2 Schlungenhof
Bosch Industriekessel GmbH
Ansbacher Straße 44
91710 Gunzenhausen
Alemania

Terrenos de la fábrica 3 Bischofshofen
Bosch Industriekessel Austria GmbH
Haldenweg 7
5500 Bischofshofen
Austria

www.bosch-industrial.com

© Bosch Industriekessel GmbH | Las imágenes
son solo ejemplos | Se reservan modificaciones |
04/2013 | TT/SLI_sp_FB-Planungsgrundsätze_02