

Edificios

Guía técnica

Diseño de centrales de calor eficientes



GOBIERNO DE ESPAÑA

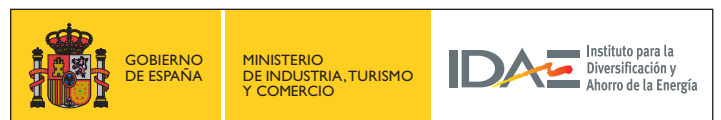
MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO



Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

Guía técnica

Diseño de centrales de calor eficientes



TÍTULO

Guía técnica de diseño de centrales de calor eficientes

AUTOR

La presente guía ha sido redactada por la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), con el objetivo de promocionar la eficiencia en el uso final de la energía en los edificios.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todas las personas que han participado en la elaboración de esta guía y en particular a D. Ricardo García San José y al Comité Técnico de ATECYR responsable de su revisión técnica.

.....

Esta publicación está incluida en el fondo editorial del IDAE, en la serie “Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización”.

Cualquier reproducción, total o parcial, de la presente publicación debe contar con la aprobación del IDAE.

ISBN: 978-84-96680-55-5

.....

IDAE

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

c/ Madera, 8

E - 28004 - Madrid

comunicacion@idae.es

www.idae.es

Madrid, junio de 2010

ÍNDICE

1	Objeto	5
2	Combustión y combustibles	7
2.1	Combustión	7
2.2	Poderes caloríficos	8
2.3	Densidad relativa	9
2.4	Emisión de contaminantes	10
3	Conjunto térmico	13
3.1	Quemadores	13
3.2	Calderas	15
3.3	Componentes del sistema de evacuación de humos	17
4	Tipos de calderas	21
4.1	Condensaciones en el lado de humos	21
4.2	Tipos de calderas	27
4.3	Directiva 92/42/CEE	28
4.4	Directiva 2005/32/CEE	31
5	Rendimiento del conjunto quemador/caldera/chimenea	33
5.1	Rendimiento de la combustión	33
5.2	Pérdidas por la envolvente de la caldera (Q_{rc})	33
5.3	Rendimiento de generación instantáneo	34
5.4	Rendimiento medio estacional	34
5.5	Cálculo del rendimiento medio estacional	36
6	Instalación de calderas de potencia superior a 70 kW	39
6.1	Bancadas	39
6.2	Llaves de corte y vaciado	39
6.3	Válvulas de seguridad	39
6.4	Presostatos	40
6.5	Expansión	40
6.6	Termostatos	41

6.7 Termómetros	41
6.8 Contadores de horas y energía	42
6.9 Caudal mínimo	42
6.10 Temperatura mínima de retorno	43
6.11 Recogida de condensados	43
6.12 Protección acústica de los quemadores mecánicos	44
6.13 Evacuación de humos	44
6.14 Datos mínimos necesarios que se solicitan al fabricante	46
7 Temperaturas de funcionamiento de circuitos térmicos	47
7.1 Calefacción	47
7.2 Agua caliente sanitaria	48
7.3 Climatización	48
7.4 Piscinas	48
8 Central de producción de calor	49
8.1 Objetivos de la central térmica	49
8.2 Circuitos hidráulicos habituales de la central térmica	51
8.3 Otros circuitos hidráulicos	56
8.4 Requisitos básicos del sistema de control	57
Anexo 1: Normativa	59
Anexo 2: Bibliografía	61

1

Objeto

El objeto de la presente guía es definir los aspectos de las centrales de producción de calor con mayor influencia en el rendimiento de las instalaciones de calefacción y ACS, proporcionándose unos criterios que sirvan a los proyectistas para seleccionar las instalaciones más adecuadas a los edificios en estudio.

El contenido de la misma se centra en las nuevas instalaciones. En las reformas los criterios aplicables son los mismos, pero teniendo en cuenta las limitaciones que imponen los espacios disponibles.

En primer lugar se tratan las características de los combustibles más empleados en las instalaciones térmicas de los edificios, con el fin de destacar los detalles más interesantes para la obtención de los mejores rendimientos y menores emisiones de contaminantes.

En el segundo capítulo se contemplan los componentes de la producción de calor: quemadores, calderas y chimeneas.

En el capítulo 3 se definen los diferentes tipos de calderas, siendo las mismas el componente más importante de la generación de calor.

Los rendimientos instantáneo y de generación estacional se analizan en el capítulo 4; con los mismos se tienen los detalles con mayor influencia en la eficiencia energética de la producción térmica.

En el capítulo 5 se detallan los aspectos, tanto técnicos como reglamentarios, a respetar en la instalación de calderas de más de 70 kW.

En el capítulo 6 se indican las temperaturas de funcionamiento habituales de los servicios térmicos de los edificios; estas temperaturas son determinantes para la selección de los tipos de calderas más adecuados para cada aplicación.

Por último, en el capítulo 7 se describen diferentes esquemas de principio que, cumpliendo los requisitos técnicos y de seguridad, permiten obtener rendimientos elevados. Los esquemas mostrados deben ser tomados como ejemplos de las múltiples soluciones posibles, siendo los propios proyectistas los que deben adoptar las soluciones más apropiadas a cada caso.

El documento se complementa con un anexo con la reglamentación aplicable y otro con la bibliografía básica.

Combustión y combustibles

2

En las centrales térmicas de los edificios el calor se obtiene de la combustión de los combustibles, por lo que en primer lugar es necesario recordar las características fundamentales de los mismos.

2.1 COMBUSTIÓN

La combustión es un conjunto de reacciones de oxidación con desprendimiento de calor que se producen entre dos elementos: el combustible, que puede ser sólido (pellets, carbón, madera, etc.), líquido (gasóleo, etc.) o gas (natural, propano, etc.) y el comburente, oxígeno; se distingue de otros procesos de oxidación por obtenerse el mantenimiento de una llama estable.

Para que la combustión tenga lugar han de coexistir tres factores, de modo que si falta alguno de ellos la combustión no puede llevarse a cabo. Estos componentes son:

- Combustible.
- Comburente.
- Energía de activación.

El comburente universal es el oxígeno, por lo que en la práctica se utiliza el aire, ya que su composición básica es 21% oxígeno (O_2) y 79% nitrógeno (N_2); la energía de activación es el desencadenante de la reacción de combustión.

Los combustibles, al margen de que sean sólidos, líquidos o gaseosos, están compuestos, básicamente, por carbono (C) e hidrógeno (H). Además de estos componentes principales tienen otros como azufre (S), humedad (H_2O), cenizas, etc.

Las consideraciones siguientes se refieren al uso de aire como comburente, ya que es el utilizado en todas las instalaciones de calderas.

La estequiometría de la combustión se ocupa de las relaciones másicas y volumétricas entre reactivos y productos; los aspectos a determinar son principalmente:

- Aire necesario para la combustión.
- Productos de la combustión generados y su composición.

Para predecir estas cantidades es preciso referirse a un proceso ideal que dependa exclusivamente de la naturaleza del combustible.

Para definir este proceso ideal se consideran los tipos de combustión que pueden darse: combustiones completas e incompletas.

2.1.1 Combustión completa

Conduce a la oxidación total de todos los elementos que constituyen el combustible. En el caso de hidrocarburos:

Carbono: CO_2 .

Hidrógeno: H_2O .

Azufre: SO_2 .

Nitrógeno: N_2 .

Oxígeno: participará como oxidante.

El nitrógeno se considera como masa inerte, si bien a las altas temperaturas de los humos pueden formarse

óxidos de nitrógeno en pequeñas proporciones (del orden de 0,01%).

2.1.1.1 Poder comburívoro

Es la cantidad de aire seco mínima, medida en condiciones normales ($T^a = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $P = 1\text{ atm}$), necesaria para la combustión completa y estequiométrica de la unidad de combustible.

Unidades habituales: Nm^3/kg combustible, Nm^3/Nm^3 combustible (*).

Es un parámetro que depende únicamente de la composición del combustible, por lo que puede tabularse con facilidad.

(*) Nm^3 (Normal m^3) es el gas contenido en 1 m^3 a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y presión atmosférica.

2.1.1.2 Poder fumígeno

Es la cantidad de productos de la combustión (Nm^3) que se producen en la combustión estequiométrica de la unidad de combustible.

Si se considera, o no, el vapor de agua existente en los productos de la combustión, se tienen los poderes fumígenos húmedo y seco, respectivamente.

2.1.2 Combustión incompleta

Los componentes del combustible no se oxidan totalmente por lo que aparecen los denominados inquemados, de los cuales el más importante es el CO; otros posibles inquemados son carbono, restos de combustible, etc.

2.1.3 Coeficiente de exceso de aire

En la práctica las combustiones no transcurren en condiciones ideales (completa y estequiométrica), para conseguir la oxidación completa la combustión real se produce con exceso de aire, aunque también se presentan situaciones en la que se tienen defectos de aire, habitualmente por un ajuste incorrecto de los elementos de la instalación de combustión.

Para caracterizar la proporción de oxígeno se define el parámetro “coeficiente de exceso de aire” (n): $n = \text{volumen aire por unidad de combustible/poder comburívoro}$.

- $n = 1$: combustión estequiométrica.
- $n < 1$: defecto de aire, se dice que la mezcla es rica.
- $n > 1$: exceso de aire, se dice que la mezcla es pobre.

Para una correcta combustión debe lograrse una buena mezcla del combustible con el aire; en este sentido los combustibles gaseosos presentan mayor facilidad de mezcla que los líquidos y éstos a su vez más que los sólidos; por ello pueden alcanzarse menores excesos de aire con los combustibles gaseosos.

2.2 PODERES CALORÍFICOS

Se define como poder calorífico de un combustible a la cantidad de calor que se obtiene de la oxidación completa, a presión atmosférica, de los componentes de la unidad de masa (o volumen) de dicho combustible. Habitualmente se expresa en las siguientes unidades

- Combustibles sólidos: kWh/kg .
- Combustibles líquidos: kWh/kg o kWh/l .
- Combustibles gaseosos: kWh/kg o kWh/Nm^3 .

En la combustión, por la oxidación del hidrógeno, se forma agua; además, los combustibles pueden tener un cierto grado de humedad en su composición; dependiendo del estado en que aparezca el agua en los humos, se distinguen dos tipos de poderes caloríficos:

2.2.1 Poder calorífico inferior (PCI)

Es el calor que puede obtenerse en la combustión completa de la unidad de combustible, si en los productos de la combustión el agua está en forma de vapor. Una parte del calor generado en las oxidaciones se utiliza para evaporar el agua y por ello ese calor no se aprovecha.

2.2.2 Poder calorífico superior (PCS)

Es el calor generado cuando en los productos de la combustión el agua aparece en forma líquida; es decir, que se aprovecha todo el calor de oxidación de los componentes del combustible.

Con las temperaturas de humos habituales el agua se evapora con los mismos en fase vapor, por lo que el poder calorífico más comúnmente utilizado es el inferior.

En la Tabla CBL-01 se muestran los poderes caloríficos de los combustibles más utilizados en los edificios de los sectores residencial y terciario.

TABLA CBL-01: PODERES CALORÍFICOS DE LOS COMBUSTIBLES

Combustible	Poder calorífico		PCI/PCS (%)
	Inferior (PCI)	Superior (PCS)	
Carbón	9,08 kWh/kg	9,43 kWh/kg	96,3
Gasóleo	10,28 kWh/l	10,89 kWh/kl	94,4
Gas butano	12,73 kWh/kg	13,79 kWh/kg	92,3
Gas propano	12,86 kWh/kg	13,97 kWh/kg	92,1
Gas natural	10,83 kWh/Nm ³	11,98 kWh/Nm ³	90,4

En la Tabla CBL-02 se dan los poderes comburívoro y fumígeno húmedo, referidos a la unidad de energía (kWh) producida en cada caso; con el fin de comparar los diferentes combustibles es más interesante esta referencia a la unidad de energía que a la unidad de masa o de volumen, ya que en este contexto la aplicación de la combustión es la producción de calor. Como referencia se ha tomado el PCI, por ser el más habitual.

TABLA CBL-02: AIRE NECESARIO Y HUMOS PRODUCIDOS EN LA COMBUSTIÓN

Combustible	Poder comburívoro Nm ³ (aire)/kWh (PCI)	Poder fumígeno húmedo Nm ³ (humos)/kWh (PCI)
Carbón	0,94	0,98
Gasóleo	0,92	0,97
Gas butano	0,94	1,01
Gas propano	0,94	1,02
Gas natural	0,95	1,05

Los datos de la Tabla CBL-02 muestran que cualquiera que sea el combustible utilizado se requiere 1 Nm³ de aire y se forman aproximadamente 1 Nm³ de humos por cada kWh de energía producida. Así, por ejemplo, una caldera de 1.000 kW genera por cada hora de funcionamiento 1.000 kWh, requiere 1.000 Nm³ de aire por hora y produce 1.000 Nm³ de humos en el mismo periodo de funcionamiento, cualquiera que sea el combustible para el que haya sido diseñada. Ambas cantidades se verán afectadas por el exceso de aire, el cual se incorpora a la combustión y aparece en los humos; es decir que si el exceso de aire hubiese sido del 20% las cantidades reales serían 1.200 Nm³, tanto de aire como de humos. El exceso de aire obliga a incrementar la ventilación y las chimeneas.

La unidad siempre será Nm³, el volumen real se verá afectado por el incremento de temperatura, por lo que el volumen de humos será superior al de aire, si bien el mismo puede ser calculado de manera muy aproximada aplicando la expresión $V/T = cte$; no olvidando que T es temperatura absoluta en K. En las instalaciones de calderas la presión será la atmosférica tanto para la toma de aire como para los humos.

Todos los locales donde haya calderas
deben estar adecuadamente ventilados
y, además, disponer de chimeneas para la
evacuación de humos

2.3 DENSIDAD RELATIVA

La densidad relativa de los combustibles gaseosos es otra propiedad a tener en cuenta en previsión de posibles fugas, desde el punto de vista de la seguridad.

Los combustibles sólidos se quedan en el lugar en que se encuentran y su mayor peligro proviene de las posibles nubes de polvo que originen. Los combustibles líquidos, como el gasóleo, en caso de fuga quedan en el suelo, así en los locales donde se almacenan y utilizan se debe sobreelevar un poco la entrada para que el posible combustible fugado quede confinado. Los combustibles gaseosos, sin embargo, tienden a ocupar todo el volumen del recinto en el que se encuentran, por lo que en caso de fuga la misma se debe evacuar con ventilación.

La Tabla CBL-03 muestra la densidad relativa de los combustibles gaseosos respecto a la del aire. El gas natural tiene una densidad relativa inferior a la unidad y en caso de fuga tenderá hacia la parte superior de los locales, mientras que los GLP (Gases Licuados del Petróleo: butano y propano) al ser más pesados que el aire tenderán hacia la parte inferior. En cada caso se deben disponer de las rejillas de ventilación adecuadas al tipo de gas.

TABLA CBL-03: DENSIDAD DE LOS COMBUSTIBLES GASEOSOS

Combustible	Densidad	
	kg/Nm ³	Relativa al aire
Gas butano	2,53	1,96
Gas propano	2,04	1,58
Gas natural	0,83	0,64

2.4 EMISIÓN DE CONTAMINANTES

Las cantidades emitidas de diferentes contaminantes es otro aspecto a considerar al comparar los diferentes combustibles. La Tabla CBL-04 muestra los datos de CO₂ y H₂O producidos en la combustión completa por unidad de energía (kWh) generada para diferentes combustibles, así como su contenido en azufre, elemento causante de la lluvia ácida.

TABLA CBL-04: PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN DE LOS COMBUSTIBLES

Combustible	Producción CO ₂ grCO ₂ /kWh (PCI)		Producción H ₂ O grH ₂ O/kWh (PCI)	Contenido en azufre
Carbón	320		58	Variable
Gasóleo	273	17%	87	0,2%
Gas butano	238	35%	122	0,05%
Gas propano	233	37%	126	0,05%
Gas natural	204	57%	155	Nulo

Se observa que el mayor emisor de CO₂ por kWh es el carbón; el combustible menos contaminante es el gas natural que produce un 57% menos de CO₂ que el carbón y un 34% menos que el gasóleo.

Por el contrario, la producción de H₂O es máxima en el gas natural, por lo que es el combustible con menor relación PCI/PCS (Tabla CBL-01).

Respecto al contenido en azufre, también el gas natural es el combustible de mejores características.

Con el fin de reducir las emisiones de CO₂ el RITE prohíbe el uso de carbón en calderas de calefacción de edificios a partir del 1 de enero de 2012; con este mismo objetivo lo más adecuado es utilizar combustibles con la menor generación de CO₂ posible, como los combustibles gaseosos, siendo el gas natural el de menores emisiones

TABLA CBL-05: CARACTERÍSTICAS DE LOS COMBUSTIBLES EMPLEADOS HABITUALMENTE EN CLIMATIZACIÓN

Cuadro resumen características de los combustibles			
Combustible	Gasóleo C	Gas natural	Gas propano
Unidad	1 kg	Nm ³	kg Nm ³
Densidad Densidad relativa	890 kg/m ³	0,828 kg/m ³ 0,643	2,038 kg/m ³ 1,583
PCI (poder calorífico inferior)	8.842 kcal/l 10,28 kWh/l 9.934 kcal/kg 11,55 kWh/kg	9.314 kcal/Nm ³ 10,83 kWh/Nm ³	22.529 kcal/Nm ³ 26,20 kWh/Nm ³ 11.055 kcal/kg 12,86 kWh/kg
PCS (poder calorífico superior)	9.367 kcal/l 10,89 kWh/l 10.524 kcal/kg 12,24 kWh/kg	10.304 kcal/Nm ³ 11,98 kWh/Nm ³	24.475 kcal/Nm ³ 28,46 kWh/Nm ³ 12.011 kcal/kg 13,97 kWh/kg
PCI/PCS	0,944	0,904	0,920
PC (poder comburívoro)	9,44 Nm ³ /l 10,61 Nm ³ /kg 0,92 Nm ³ /kWhPCI	10,34 Nm ³ /Nm ³ 0,95 Nm ³ /kWhPCI	24,61 Nm ³ /Nm ³ 12,08 Nm ³ /kg 0,94 Nm ³ /kWhPCI
PFS (poder fumígeno seco)	8,90 Nm ³ /l 10,00 Nm ³ /kg 0,87 Nm ³ /kWhPCI	9,32 Nm ³ /Nm ³ 0,86 Nm ³ /kWhPCI	22,56 Nm ³ /Nm ³ 11,07 Nm ³ /kg 0,86 Nm ³ /kWhPCI
PFH (poder fumígeno húmedo)	10,01 Nm ³ /l 11,24 Nm ³ /kg 0,97 Nm ³ /kWhPCI	11,42 Nm ³ /Nm ³ 1,05 Nm ³ /kWhPCI	26,67 Nm ³ /Nm ³ 13,09 Nm ³ /kg 1,02 Nm ³ /kWhPCI
PFS/PC	0,943	0,902	0,916
CO ₂ Producido en combustión	2,80 kg/l 3,15 kg/kg 273 g/kWhPCI	2,21 kg/Nm ³ 204 g/kWhPCI	6,11 kg/Nm ³ 3,00 kg/kg 233 g/kWhPCI
H ₂ O Producido en combustión	0,89 kg/l 1,00 kg/kg 87 g/kWhPCI	1,68 kg/Nm ³ 155 g/kWhPCI	3,31 kg/Nm ³ 1,62 kg/kg 126 g/kWhPCI
CO ₂ máximo (%)	16,05%	12,06%	13,80%
Contenido de azufre	<0,2%	Nulo	<0,05%

3

Conjunto térmico

Aunque habitualmente se mencionan únicamente las calderas como los elementos de producción de calor, no debe olvidarse que en realidad el mismo se produce en el conjunto de generación de calor compuesto por:

- Quemadores.
- Calderas.
- Chimeneas.

En este apartado se analizan las características básicas de los conjuntos diseñados para combustibles líquidos y gaseosos por ser los más empleados en climatización; no se contemplan otros equipos, como las calderas de biomasa, que se desarrollarán en las guías correspondientes.

Asimismo, se desarrollan exclusivamente los aspectos que van a influir en el diseño de la central térmica sin profundizar en los componentes, por exceder del objeto de la presente guía.

3.1 QUEMADORES

Los quemadores son los equipos donde se realiza la combustión, por tanto deben contener los tres vértices del triángulo de combustión; es decir, tienen que lograr la mezcla íntima del combustible con el aire y además proporcionar la energía de activación.

3.1.1 Clasificación por la aportación del aire de combustión

Por la forma en que toman el aire de combustión se distinguen dos tipos de quemadores:

3.1.1.1 Quemadores atmosféricos

Únicamente se emplean para combustibles gaseosos; una parte del aire necesario para la combustión (aire primario) se induce en el propio quemador por el chorro de gas salido de un inyector (efecto Venturi); el aire restante (aire secundario) se obtiene por difusión del aire ambiente alrededor de la llama. En general, en este tipo de quemadores se tienen combustiones con altos índices de exceso de aire.

La principal ventaja de este sistema es su simplicidad y bajo coste, si bien debido a que el aire de combustión se aporta por “Venturi” y por convección natural, la densidad de potencia que consiguen es baja, siendo ésta una de sus limitaciones; si se requieren potencias elevadas se obtienen con parrillas de quemadores en paralelo.

La energía de activación se logra con encendidos automáticos (electrónicos, tren de chispas, etc.). En la actualidad, prácticamente ha desaparecido la denominada llama piloto, que debía estar permanentemente encendida.

La regulación del gas se obtiene por variación de la presión en el inyector (abriendo y cerrando progresivamente la válvula de gas); esto permite que el quemador pueda ser modulante con relativa facilidad.

La regulación del aire (con gas a presión constante) se puede conseguir:

- Variando la sección de entrada de aire, por obturación de los orificios por donde entra, mediante discos roscados, anillo móvil o capuchón deslizante.
- Por deslizamiento de la boquilla del inyector respecto del Venturi.

Lo más habitual es que únicamente se module la válvula de gas, dejando en una posición fija la entrada de aire en la puesta en marcha.

Con la incorporación de ventiladores se obtienen mejoras en el sistema de combustión y se incrementa la densidad de potencia que pueden generar.

Quemadores atmosféricos de premezcla

Para mejorar el control de la combustión se desarrollaron los quemadores de premezcla, esencialmente pueden considerarse como atmosféricos, si bien incorporan un ventilador previo al quemador que aporta el aire de combustión, solo o mezclado con el combustible, consiguiendo una mezcla más homogénea del combustible y el comburente y, consiguientemente, un mejor control de los parámetros de la combustión, además de una mayor potencia.

3.1.1.2 Quemadores mecánicos

También se denominan como quemadores de sobrepresión; el aire de combustión es introducido mediante un ventilador, existiendo diversos sistemas para lograr la mezcla del aire con el combustible.

En el caso de gas, el combustible se introduce mediante los inyectores, aprovechando la propia presión de suministro. En los combustibles líquidos se utilizan diversos sistemas para su pulverización, de modo que se creen microgotas de combustible que facilitan su mezcla con el aire. El tipo más extendido es el de pulverización mecánica mediante una bomba de combustible movida conjuntamente por el mismo motor del ventilador.

Estos quemadores se fabrican desde pequeñas hasta muy altas potencias. La combustión puede ajustarse actuando sobre el gasto de combustible, sobre la cantidad de aire a impulsar y sobre los elementos que producen la mezcla; por lo que es posible obtener un control más ajustado de la combustión.

3.1.2 Clasificación por los escalones de potencia

Por el número de escalones de potencia que producen, se distinguen los siguientes tipos de quemadores:

De una marcha

Son quemadores que sólo pueden funcionar con la potencia a la que hayan sido regulados, se aplica en quemadores de pequeña potencia.

De varias marchas

Son quemadores con dos o más escalones de potencia (habitualmente dos); es decir, que pueden funcionar produciendo potencias distintas.

Deben disponer de los elementos necesarios para poder regular la admisión de aire y el gasto de combustible, de modo que en cada escalón de potencia se obtenga el rendimiento de combustión más alto posible.

Se utilizan para potencias intermedias o altas.

Modulantes

Estos quemadores proporcionan un escalonamiento continuo de potencias, entre un valor mínimo y un máximo. Para ello ajustan continuamente la relación aire/combustible, de manera que pueden trabajar con rendimientos elevados en una amplia gama de potencias, adecuándose de manera constante a las necesidades de producción.

En la tabla 2.4.1.1 del RITE se indica el número de marchas mínimo de los quemadores en función de la potencia de los generadores (Tabla QMD-01).

TABLA QMD-01: REGULACIÓN MÍNIMA DE LA POTENCIA DE LOS QUEMADORES EN FUNCIÓN DE SU POTENCIA

Regulación de quemadores	
Potencia nominal	Regulación mínima
$PN \leq 70$	Una marcha
$70 < PM \leq 400$	Dos marchas
$400 < PM$	Tres marchas o modulante
RITE 2007: Tabla 2.4.1.1	

Evidentemente el número de marchas de los quemadores, para cada rango de potencias, puede ser superior al mínimo indicado en la tabla, siendo en todo caso los más adecuados los quemadores modulantes.

En las instalaciones de climatización, debido a la variación continua de la demanda, los más adecuados son los quemadores modulantes

3.2 CALDERAS

Las calderas son los elementos donde el calor de la combustión, realizada en los quemadores, se transfiere al agua de la instalación.

Pueden clasificarse de muy diversas formas, entre las que cabe citarse:

- Por el tipo de combustible:
 - De combustible sólido.
 - De combustible líquido.
 - De combustible gaseoso.
 - Policombustibles.
- Por la presión del hogar:
 - De hogar en depresión.
 - Atmosféricas.
 - De sobrepresión.
- Por el material con el que están construidas:
 - De hierro fundido.
 - De chapa de acero.

Para obtener los rendimientos óptimos es muy importante utilizar la caldera apropiada a cada aplicación; por ejemplo, ha sido frecuente el caso de reutilizar para combustibles líquidos o gaseosos, calderas diseñadas inicialmente para combustible sólido, obteniéndose rendimientos muy inferiores a los que corresponden a una caldera diseñada exclusivamente para estos combustibles.

En los sectores residencial y terciario prácticamente todas las calderas son de agua caliente; en ellas el agua se calienta a temperaturas inferiores a 110 °C. Las características de estas calderas se ajustan a algunos de los tipos indicados anteriormente. Los más usuales, según el combustible, son:

- Combustible sólido

Calderas de elementos de hierro fundido con hogar en depresión. A veces también se utilizan con introducción del aire de combustión mediante ventilador e incluso con sistemas de carga automática de combustible.

- Combustibles líquidos

Los combustibles líquidos requieren quemadores mecánicos, por lo que se utilizan calderas de sobrepresión; las más habituales son de chapa de acero, piro tubulares, aunque también existen numerosos modelos de elementos de hierro fundido.

- Combustibles gaseosos

Las calderas para combustibles gaseosos dependen del tipo de quemadores asociados a ellas; cuando se emplean quemadores mecánicos las calderas son similares a las indicadas para combustibles líquidos. La mayor parte de los modelos del mercado están diseñados para quemar indistintamente ambos combustibles, debiendo adaptarse los quemadores a cada caso.

Las calderas atmosféricas son exclusivas para combustibles gaseosos, incorporan quemadores atmosféricos, en todas sus variedades.

3.2.1 Calderas atmosféricas

Las calderas atmosféricas para instalaciones centrales están compuestas, generalmente, por elementos de hierro fundido, formando un conjunto que encierra a la cámara de combustión, en la cual se introducen los quemadores atmosféricos.

Cada vez es más empleada la fundición de aluminio, básicamente en calderas de condensación.

El agua de la instalación circula por el interior de los elementos, los cuales tienen diseños especiales para formar el circuito de humos.

El conjunto de elementos se rodea de una envolvente aislante térmica.

En las instalaciones en las que se requieren potencias elevadas, éstas se consiguen conectando hidráulicamente en paralelo varias calderas.

También existen en el mercado calderas centrales que internamente están formadas por varias calderas de tipo doméstico.

3.2.2 Calderas de sobrepresión

Como se ha indicado anteriormente, la gran mayoría de estas calderas son las de chapa de acero pirotubulares, si bien hay un número importante de calderas con elementos de hierro fundido, y para condensación calderas de acero inoxidable o de fundición de aluminio en el caso de gas.

Las partes fundamentales de estas calderas son:

Cámara de combustión

Es la parte de la caldera donde se quema el combustible; a lo largo de ella se extiende la llama, alcanzándose las mayores temperaturas. Deben tener la forma adecuada al tipo de combustible y quemador para los que se diseñen.

Circuito de humos

Posteriormente los gases producto de la combustión continúan su camino hacia la chimenea a través del circuito de humos.

Estos circuitos suelen incluir elementos (retardadores) o geometrías especiales, con el fin de prolongar el paso

de los humos en la caldera y mejorar el coeficiente de transmisión de calor humos-fluido, obteniéndose temperaturas de humos más bajas y rendimientos más altos.

La suma de la superficie de la cámara de combustión y la del circuito de humos es la superficie de intercambio o superficie de calefacción de la caldera.

Caja de humos

Es la parte de la caldera donde confluyen los gases de combustión; desde este punto, mediante un tramo de conexión, son conducidos hasta la chimenea.

Puerta o frente de caldera

Es el punto donde se coloca el quemador, debe estar construida con materiales capaces de soportar las altas temperaturas que se producen en su proximidad. Son abatibles para permitir la limpieza interior necesaria para el mantenimiento de la caldera.

Envolvente aislante

El conjunto de la caldera debe estar recubierto por una envolvente con material aislante térmico, con el fin de disminuir las pérdidas de calor de la misma. Es muy importante mantener en buen estado esta envolvente, ya que su deterioro provoca grandes pérdidas de calor, debidas a las altas temperaturas que alcanzan los componentes de las calderas.

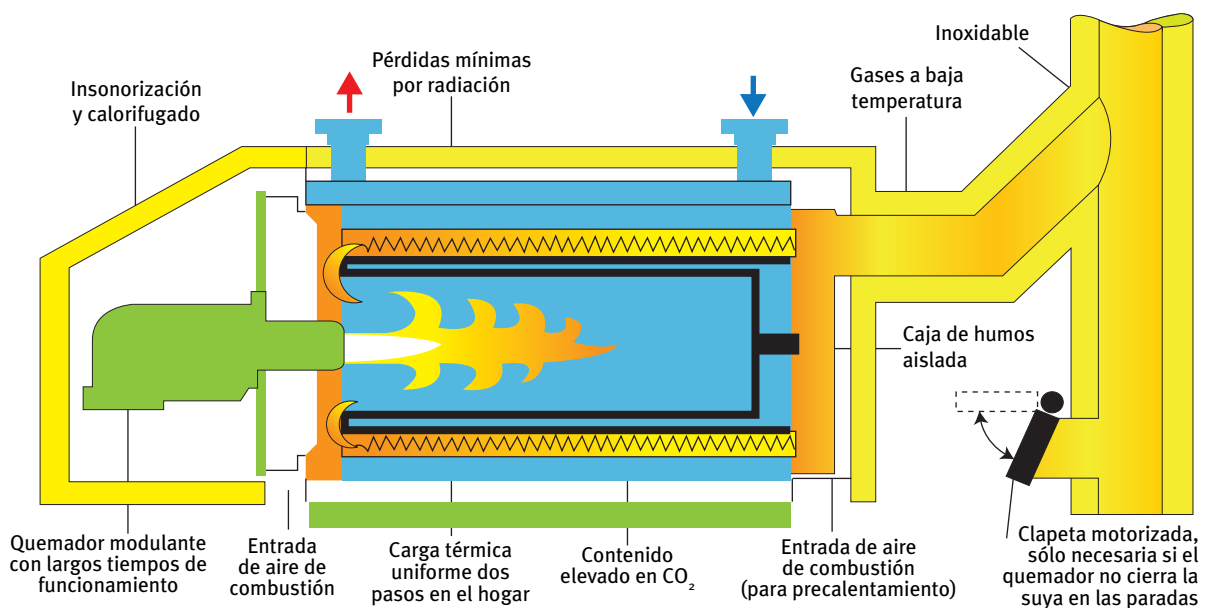


Figura CLD-01: Caldera pirotubular con quemador mecánico

3.3 COMPONENTES DEL SISTEMA DE EVACUACIÓN DE HUMOS

En este apartado se definen los diferentes componentes de los sistemas de evacuación de los PdC, ya que en muchas ocasiones se dan distintos significados para las mismas expresiones. Estos sistemas están compuestos por (Figura CHM-01):

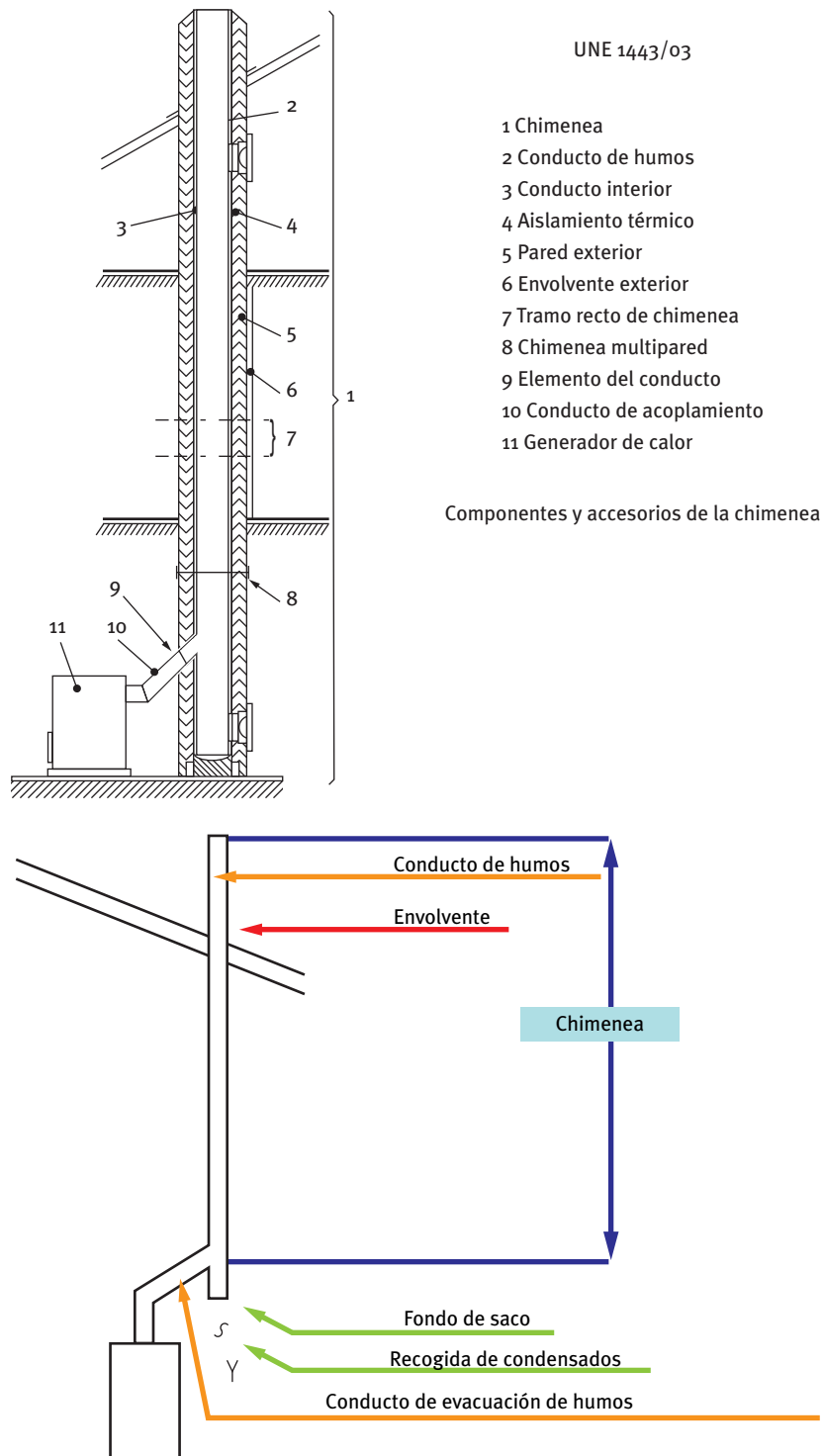


Figura CHM-01: Componentes del sistema de evacuación de humos

Chimeneas

Son los elementos encargados de evacuar los humos hasta el exterior de los edificios, por encima de la cubierta de los mismos. Su trazado es vertical, prácticamente en su totalidad, estando formadas por:

- Conducto de humos, que es el conducto interior por el que circulan los gases procedentes de la combustión.
- Envoltente o estructura aislante y resistente.

Conductos de evacuación de humos

También son conocidos como conducto de acoplamiento. Son los elementos de conexión entre las calderas y las chimeneas.

Al igual que las chimeneas están constituidos por el conducto de humos y la envoltente.

3.3.1 Clasificación de las chimeneas

Las chimeneas pueden clasificarse de acuerdo a diferentes criterios: según su forma de funcionamiento, material con el que están contruidos los conductos de humos, forma constructiva, etc.

3.3.1.1 Por la forma de funcionamiento

La clasificación más importante es la realizada por su forma de funcionamiento o tiro.

Tiro es la diferencia de presión que provoca el desplazamiento de los humos por la chimenea hasta el exterior.

Se distinguen los siguientes tipos:

Tiro natural: la diferencia de presión es producida por la diferencia de densidades entre el aire ambiente y los productos de la combustión.

Tiro artificial: la diferencia de presión es producida por medios mecánicos; a su vez puede ser:

- Tiro forzado: la evacuación de humos se realiza mediante ventiladores que impulsan los humos desde la parte baja de la chimenea, o extractores que lo extraen desde la parte alta.

- Tiro inducido: el tiro se induce por efecto Venturi mediante un ventilador.

3.3.1.2 Por el material

Por el material con el que están constituidos los conductos de humos se tienen chimeneas del tipo:

- Obra de fábrica: construidas con materiales refractarios (ladrillo, hormigón, etc.).
- Metálicas: realizadas con materiales metálicos (acero inoxidable, vitrificado, etc.).
- Plásticas: recientemente se han desarrollado chimeneas de materiales plásticos asociadas al uso de calderas de condensación.

3.3.1.3 Por la forma constructiva

Según la forma del conducto de humos se distinguen chimeneas:

- Circulares.
- Elípticas.
- Cuadradas.
- Rectangulares.

3.3.1.4 Por el número de calderas

En función del número de usuarios a los que sirven (Figura CHM-02), las chimeneas se clasifican en:

Individuales: sirven para la evacuación de los humos de una única caldera.

Colectivas: evacuan los humos producidos por varias calderas; a ellas desembocan los conductos de evacuación de humos de cada una.

Dentro de las colectivas se distinguen a su vez dos tipos:

- Chimenea formada por dos conductos, uno principal y otro auxiliar en el que se van conectando los diferentes conductos de evacuación de humos.

- Chimenea de conducto único, en la que se van uniendo los conductos de evacuación de humos de las distintas calderas; este conducto puede ser de sección constante o variable.

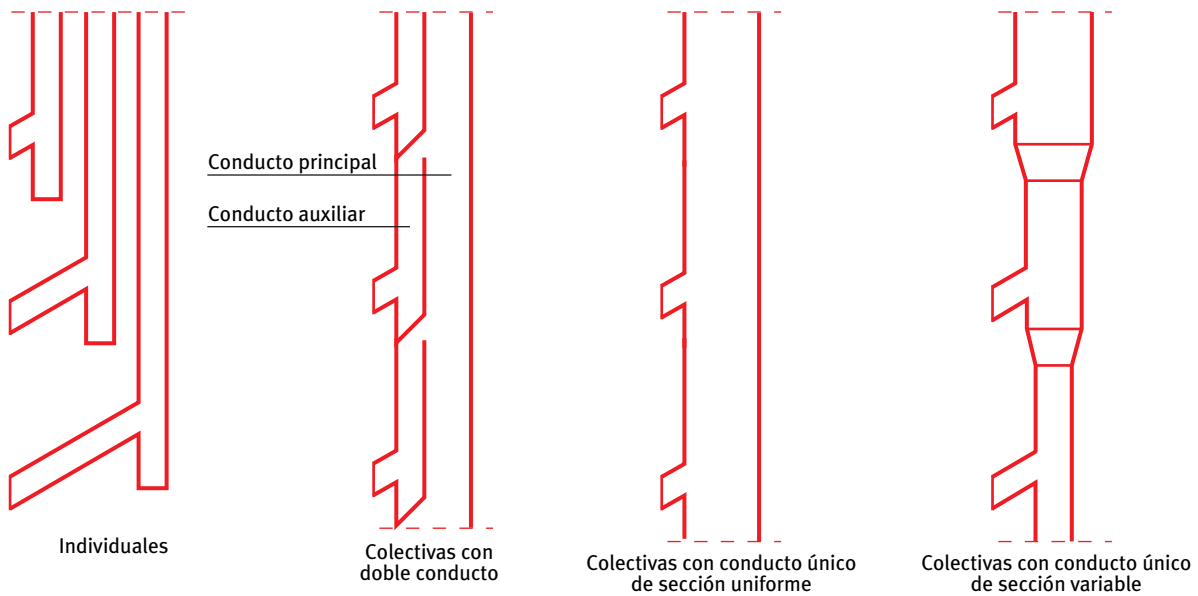


Figura CHM-02: Clasificación de las chimeneas en función del número de calderas conectadas a la misma

4

Tipos de calderas

En este apartado se describen los diferentes tipos de calderas según la Directiva 92/42/CE. Para ello en primer lugar se analiza el fenómeno de la condensación del agua de los humos y sus consecuencias para las calderas, lo que da lugar a la mencionada clasificación.

4.1 CONDENSACIONES EN EL LADO DE HUMOS

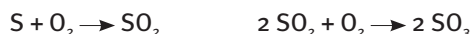
El agua producida en la combustión sale con los humos en forma de vapor; si la temperatura del agua de la caldera está por debajo de un cierto valor, los gases de la combustión en contacto con el circuito de humos de algunas partes de la caldera se enfrían hasta producir la condensación del vapor de agua sobre las partes metálicas de la caldera. La temperatura de condensación es el denominado punto de rocío, el mismo depende del tipo de combustible y del exceso de aire de la combustión, disminuyendo conforme aumenta el exceso de aire, siendo este un factor con gran influencia. La humedad relativa del comburente apenas influye.

El gas natural es el combustible que produce mayor cantidad de agua en su combustión (155 g/kWh), por este motivo sus temperaturas de rocío son más altas que las correspondientes al gasóleo (87 g/kWh), por lo que se puede producir la condensación más rápidamente. El gas propano (126 g/kWh) presenta temperaturas intermedias, más próximas al gas natural.

En las Tablas CBL-06, CBL-07 y CBL-08 se dan los puntos de rocío para el gas natural, gas propano y gasóleo, en

función del exceso de aire y de la humedad relativa del aire comburente.

Por otro lado, el azufre contenido en los combustibles reacciona del siguiente modo:



El SO_3 en contacto con el agua de condensación forma ácido sulfúrico (H_2SO_4), que tiene efectos muy corrosivos, especialmente sobre el acero. Por ello, además del punto de rocío húmedo, debe considerarse el punto de rocío ácido, que tiene gran importancia en los combustibles con más de 0,7% de contenido de azufre.

En la Tabla CBL-09 se da el punto de rocío ácido del gasóleo, con un contenido de azufre del 0,2%, máximo permitido por la reglamentación para limitar la contaminación, en función del exceso de aire y de la humedad relativa del comburente; estas temperaturas son muy superiores a las del punto de rocío del vapor de agua, siendo realmente peligrosas si previamente se ha producido condensación de agua.

El gas natural tiene unas temperaturas de rocío superiores a las del gasóleo, presentándose por tanto las condensaciones en el lado de humos antes y en mayor cantidad, no obstante, al ser su contenido en azufre muy bajo sus condensados son menos agresivos, presentándose menos riesgos de deterioro de la caldera. El propano representa un caso intermedio entre el gasóleo y el gas natural, siendo según la legislación vigente su contenido máximo de azufre de un 0,05%.

TABLA CBL-06: TEMPERATURAS DE ROCÍO DE LOS HUMOS PROCEDENTES DE LA COMBUSTIÓN DEL GAS NATURAL, EN FUNCIÓN DEL EXCESO DE AIRE Y DE LA HUMEDAD RELATIVA DEL COMBURENTE

Temperaturas (°C) de rocío de los humos del gas natural											
Exceso de aire (%)	Humedad relativa del aire comburente (%)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	58	59	59	59	59	60	60	60	60	61	61
10	57	57	57	57	58	58	58	58	59	59	59
20	55	55	56	56	56	56	57	57	57	57	58
30	53	54	54	54	55	55	55	56	56	56	56
40	52	52	53	53	53	54	54	54	55	55	55
50	51	51	51	52	52	52	53	53	53	54	54
60	49	50	50	51	51	51	52	52	52	53	53
70	48	49	49	49	50	50	51	51	51	52	52
80	47	48	48	48	49	49	50	50	50	51	51
90	46	47	47	48	48	48	49	49	49	50	50
100	45	46	46	47	47	47	48	48	49	49	49
120	44	44	44	45	45	46	46	47	47	48	48
140	42	42	43	43	44	44	45	45	46	46	47
160	40	41	42	42	43	43	44	44	45	45	46
180	39	40	40	41	41	42	42	43	44	44	45
200	38	38	39	40	40	41	41	42	43	43	44
250	35	36	36	37	38	38	39	40	40	41	41
300	33	34	34	35	36	37	37	38	39	39	40

TABLA CBL-07: TEMPERATURAS DE ROCÍO DE LOS HUMOS PROCEDENTES DE LA COMBUSTIÓN DEL GAS PROPANO, EN FUNCIÓN DEL EXCESO DE AIRE Y DE LA HUMEDAD RELATIVA DEL COMBURENTE

Temperaturas (°C) de rocío de los humos del gas propano											
Exceso de aire (%)	Humedad relativa del aire comburente (%)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	55	55	55	56	56	56	57	57	57	57	58
10	53	53	54	54	54	55	55	55	55	56	56
20	51	52	52	52	53	53	53	54	54	54	55
30	50	50	51	51	51	52	52	52	53	53	53
40	48	49	49	50	50	50	51	51	51	52	52
50	47	48	48	48	49	49	49	50	50	51	51
60	46	46	47	47	48	48	48	49	49	50	50
70	45	45	46	46	47	47	47	48	48	49	49
80	44	44	45	45	46	46	46	47	47	48	48
90	43	43	44	44	45	45	46	46	46	47	47
100	42	42	43	43	44	44	45	45	46	46	47
120	40	41	41	42	42	43	43	44	44	45	45
140	38	39	40	40	41	41	42	42	43	44	44
160	37	38	38	39	40	40	41	41	42	42	43

(continuación)

Temperaturas (°C) de rocío de los humos del gas propano											
Exceso de aire (%)	Humedad relativa del aire comburente (%)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
180	36	36	37	38	38	39	40	40	41	41	42
200	38	38	39	40	40	41	41	42	43	43	44
250	35	36	36	37	38	38	39	40	40	41	41
300	33	34	34	35	36	37	37	38	39	39	40

TABLA CBL-08: TEMPERATURAS DE ROCÍO DE LOS HUMOS PROCEDENTES DE LA COMBUSTIÓN DEL GASÓLEO, EN FUNCIÓN DEL EXCESO DE AIRE Y DE LA HUMEDAD RELATIVA DEL COMBURENTE

Temperaturas (°C) de rocío de los humos del gasóleo											
Exceso de aire (%)	Humedad relativa del aire comburente (%)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	48	48	49	49	50	50	50	51	51	51	52
10	46	47	47	48	48	48	49	49	50	50	50
20	45	45	46	46	46	47	47	48	48	49	49
30	43	44	44	45	45	46	46	46	47	47	48
40	42	42	43	43	44	44	45	45	46	46	47
50	41	41	42	42	43	43	44	44	45	45	46
60	39	40	41	41	42	42	43	43	44	44	45
70	38	39	39	40	41	41	42	42	43	43	44
80	37	38	39	39	40	40	41	41	42	43	43
90	36	37	38	38	39	40	40	41	41	42	42
100	35	36	37	37	38	39	39	40	41	41	42
120	34	34	35	36	37	37	38	39	39	40	40
140	32	33	34	35	35	36	37	37	38	39	39
160	31	32	32	33	34	35	36	36	37	38	38
180	29	30	31	32	33	34	35	35	36	37	38
200	28	29	30	31	32	33	34	35	35	36	37
250	26	27	28	29	30	31	32	33	33	34	35
300	23	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34

TABLA CBL-09: TEMPERATURAS DE ROCÍO ÁCIDO DE LOS HUMOS PROCEDENTES DE LA COMBUSTIÓN DEL GASÓLEO, EN FUNCIÓN DEL EXCESO DE AIRE Y DE LA HUMEDAD RELATIVA DEL COMBURENTE

Temperaturas (°C) de rocío ácido de los humos del gasóleo											
Exceso de aire (%)	Humedad relativa del aire comburente (%)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	141	141	141	141	142	142	142	142	142	143	143
10	139	139	140	140	140	140	140	141	141	141	141
20	137	138	138	138	138	139	139	139	139	139	140
30	136	136	136	137	137	137	137	138	138	138	138

(continuación)

Temperaturas (°C) de rocío ácido de los humos del gasóleo											
Exceso de aire (%)	Humedad relativa del aire comburente (%)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
40	135	135	135	135	136	136	136	136	137	137	137
50	133	133	134	134	134	135	135	135	135	136	136
60	132	132	133	133	133	133	134	134	134	135	135
70	131	131	131	132	132	132	133	133	133	133	134
80	130	130	130	131	131	131	132	132	132	133	133
90	129	129	129	129	130	130	131	131	131	132	132
100	128	128	128	129	129	129	130	130	130	131	131
120	126	126	127	127	128	128	128	128	129	129	129
140	124	125	125	125	126	126	127	127	127	128	128
160	123	123	123	124	124	125	125	126	126	126	127
180	121	122	122	123	123	124	124	124	125	125	126
200	120	120	121	121	122	122	123	123	124	124	124
250	117	117	118	119	119	120	120	121	121	122	122
300	114	115	116	116	117	117	118	119	119	120	120

Para evitar los problemas de condensaciones en el interior de las calderas, se debe garantizar que las superficies de su circuito de humos estén siempre por encima de las temperaturas del punto de rocío de los humos del combustible que se utilice; esto se logra manteniendo la temperatura de retorno del agua a la caldera por encima de un valor determinado, habitualmente indicado por el fabricante de la caldera.

Cálculo de la temperatura de los conductos de humos

En este apartado se analiza cuales son las temperaturas de los conductos de humos, en función de las temperaturas de humos y agua, con el fin de prever el riesgo de condensaciones. Para simplificar el cálculo se utilizan las expresiones correspondientes a pared plana, en lugar de las de cilindro; el error cometido es inferior al 5%; sin embargo, las conclusiones son correctas.

El calor transmitido de los humos al agua, en el interior de la caldera es:

$$Q = U \cdot S \cdot (T_h - T_w)$$

Donde:

- U: coeficiente de transmisión de calor de los elementos de la caldera ($W/m^2 \cdot ^\circ C$).
- T_h : temperatura de humos ($^\circ C$).
- T_w : temperatura del agua ($^\circ C$).
- S: superficie interior de la caldera (m^2).

El coeficiente de transmisión de calor se calcula según la siguiente expresión:

$$U = 1/(1/h_h + e_c/\lambda_c + 1/h_w) = 1/R_T$$

- h_h : coeficiente de convección-radiación de los humos ($W/m^2 \cdot ^\circ C$).
- h_w : coeficiente de convección-radiación del agua ($W/m^2 \cdot ^\circ C$).
- e_c : espesor de los elementos de la caldera (m).
- λ_c : coeficiente de conductividad térmica de los elementos de la caldera ($W/m \cdot ^\circ C$).
- R_T : resistencia térmica total de los elementos de la caldera ($m^2 \cdot ^\circ C/W$).

$$R_T = 1/h_h + e_c/\lambda_c + 1/h_w = R_h + R_c + R_w$$

- R_h : resistencia térmica de los humos ($m^2 \cdot ^\circ C/W$).
- R_c : resistencia térmica de los elementos de la caldera ($m^2 \cdot ^\circ C/W$).
- R_w : resistencia térmica del agua ($m^2 \cdot ^\circ C/W$).

El calor total transmitido de los humos al agua es el mismo que el transmitido de los humos a los elementos interiores de la caldera, igual al conducido por dichos elementos y que el transmitido al agua:

$$Q_T = S \cdot (T_h - T_w) / R_T$$

$$Q_h = S \cdot (T_h - T_{ch}) / R_h$$

$$Q_c = S \cdot (T_{ch} - T_{cw}) / R_c$$

$$Q_w = S \cdot (T_{cw} - T_w) / R_w$$

Igualando estas expresiones se obtiene:

$$Q_T = Q_h = Q_c = Q_w$$

$$S \cdot (T_h - T_{ch}) / R_h = S \cdot (T_h - T_w) / R_T$$

$$T_h - T_{ch} = (T_h - T_w) \cdot R_h / R_T$$

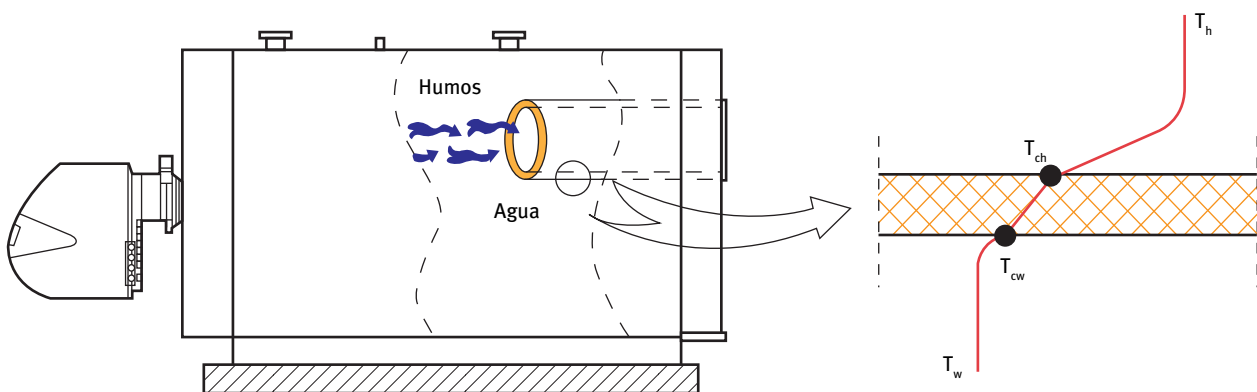


Figura CLD-01: Temperaturas en los conductos de humos

Las condensaciones pueden presentarse en los elementos por el lado de contacto con los humos, por ello interesa conocer la temperatura superficial de la caldera en el lado de humos (T_{ch}) para comprobar si hay o no peligro de condensaciones.

$$T_{ch} = T_h - (T_h - T_w) \cdot R_h / R_T$$

En el caso de calderas piro-tubulares de chapa de acero, en las condiciones de circulación de humos y agua en el interior de las calderas, se tienen los siguientes valores típicos:

- h_h : $58 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ C$
- h_w : $1.160 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ C$

- e_c : 5 mm (0,005 m)
- λ_c : 47 W/m·°C

$$R_T = 1/58 + 0,005/47 + 1/1.160 = 0,0182 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$$

$$R_h = 1/58 = 0,0172 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$$

$$R_h/R_T = 0,94$$

Este valor indica que más del 90% del salto térmico entre los humos y el agua se da en el lado de los humos.

$$T_{ch} = T_h - 0,94 \cdot (T_h - T_w)$$

En calderas de hierro fundido, en fundición de aluminio u otros diseños, los datos son diferentes, pero en términos cualitativos la conclusión es similar.

La zona crítica para la presencia de condensaciones es el tramo final de la caldera, en las proximidades de la caja de humos, ya que en esta zona, los humos tienen su menor temperatura y el agua está más fría.

En la tabla CLD-01 se dan las temperaturas de la chapa en el lado de humos, para diferentes valores de las temperaturas de humos y agua.

TABLA CLD-01: TEMPERATURAS DE CALDERA EN EL LADO DE HUMOS, EN FUNCIÓN DE LAS TEMPERATURAS DE HUMOS Y AGUA

Temperatura de la caldera en el lado de humos (°C)							
Temperatura humos (°C)	Temperaturas del agua de retorno a caldera (°C)						
	30	35	40	45	50	55	60
300	44	49	54	59	63	68	73
280	43	48	53	58	62	67	72
260	42	47	52	56	61	66	71
240	41	46	51	55	60	65	70
220	40	45	50	54	59	64	69
200	39	44	49	53	58	63	67
180	38	43	47	52	57	62	66
160	37	42	46	51	56	61	65
140	36	41	45	50	55	60	64
120	35	40	44	49	54	58	63
100	34	38	43	48	53	57	62

Como se puede comprobar en la tabla anterior, la temperatura de la chapa depende fundamentalmente de la temperatura del agua, por lo que para evitar las condensaciones debe controlarse que la temperatura de retorno del agua a la caldera no baje de un determinado valor.

4.2 TIPOS DE CALDERAS

Atendiendo a las consideraciones del riesgo de condensaciones interiores, se tienen tres tipos fundamentales de calderas:

4.2.1 Calderas estándar

Son aquellas que no están diseñadas para soportar las condensaciones y que por lo tanto deben trabajar con temperaturas de retorno por encima de aquellas que pueden ocasionar este problema.

Dentro de las mismas se pueden distinguir dos tipos:

- Eficiencia normal: trabajan con temperaturas de humos inferiores a 240 °C.
- Alta eficiencia: en la tabla CLD-01 se puede comprobar como es posible lograr temperaturas de humos más bajas, incluso inferiores a 140 °C, sin peligro de condensaciones, por lo que pueden darse rendimientos más altos, este es el caso de calderas de alta eficiencia.

4.2.2 Calderas de baja temperatura

Están construidas para trabajar con temperaturas de retorno bajas sin llegar a producir condensaciones; lo que se logra con diseños especiales de los tubos de humos de modo que la temperatura en el lado de humos se mantiene por encima del punto de rocío aún con temperaturas de retorno de agua bajas.

Su principal aplicación es en instalaciones donde se pueda trabajar un número elevado de horas a temperaturas bajas, de este modo las temperaturas de la envolvente de caldera y de humos son inferiores, aumentando el rendimiento de generación estacional.

4.2.3 Calderas de condensación

Están construidas con materiales que soportan las condensaciones sin peligro de deterioro; en las mismas se busca provocar las condensaciones con el fin de aprovechar el calor latente de vaporización del agua producida en la combustión, y de este modo aumentar el rendimiento. Por ello su aplicación principal es en instalaciones donde pueden trabajar un número importante de horas a baja temperatura.

Como se ha visto anteriormente el combustible con mayor producción de agua en su combustión es el gas natural, por lo que resulta el más adecuado para ser utilizado en calderas de condensación, ya que puede recuperarse mayor cantidad de calor.

4.2.4 Análisis de los tipos de caldera

De manera suficientemente ilustrativa, se puede analizar el comportamiento de una caldera a través de la ecuación clásica de transmisión de calor:

$$Q = U \cdot S \cdot \Delta T$$

Siendo:

Q: la energía cedida por la caldera al agua de la instalación referida a la unidad de tiempo; se trata, por tanto, de una potencia (W).

U: el coeficiente de transmisión de calor, es una característica constructiva dependiendo del material con que esté fabricada la caldera (W/m²·°C).

ΔT : el salto térmico característico entre los humos y el agua (°C).

La temperatura de los humos varía entre valores incluso superiores a los 2.000 °C en la cámara de combustión y menos de 240 °C en la caja de humos.

Las temperaturas del agua varían entre las de impulsión y retorno de la instalación.

Analizando la expresión $Q = U \cdot S \cdot \Delta T$, se comprueba que una caldera no tiene una potencia única sino que depende de las temperaturas de los humos y del agua, ya que U y S son características constructivas e inalterables, una vez seleccionada la caldera. Ello no es totalmente cierto ya que U varía con las velocidades de paso de humos y agua, lo que modifica sus coeficientes de convección de calor; pero para extraer conclusiones pueden asumirse como constantes.

Si las temperaturas de humos son bajas las calderas tendrán mayor eficiencia; desde el punto de vista constructivo son de mayor tamaño ya que el menor ΔT se debe compensar con una mayor superficie de intercambio para obtener la misma potencia; como consecuencia de ello son calderas más caras ya que requieren más materiales en su construcción. Por otro lado, al tener mayor tamaño presentan mayor superficie de pérdidas por la envolvente, por lo que deben poseer un aislamien-

to térmico reforzado, para conseguir los rendimientos adecuados.

El diseño de las calderas de baja temperatura implica que el coeficiente de transmisión U es más bajo, por lo que para lograr las mismas potencias se requieren calderas de mayor tamaño (mayor S); esto conlleva, al igual que en las de alto rendimiento, un mayor costo y la necesidad de reforzar el aislamiento térmico.

Por último, las calderas de condensación requieren materiales especiales para su construcción, por lo que resultan de costo más alto.

Habitualmente las calderas de alto rendimiento, baja temperatura y condensación tienen diseños muy cuidados, lo que redundará en el aumento del rendimiento, pero a su vez supone costos mayores; antes de optar por un tipo u otro habrá que analizar las condiciones de funcionamiento de las instalaciones, horarios de funcionamiento, etc.

4.3 DIRECTIVA 92/42/CEE

En la IT 1.2.4.1.2.1 se requiere que en el proyecto se indique la prestación energética de las calderas, los rendimientos a potencia nominal y con carga parcial del 30% y la temperatura media del agua en la caldera de acuerdo con lo que establece el Real Decreto 275/1995 de 24 de febrero; este Real Decreto transpuso la Directiva 92/42/CEE, relativa a los requisitos de rendimiento para las calderas nuevas de agua caliente alimentadas con combustibles líquidos o gaseosos.

En el Anexo II de esta Directiva se dan las siguientes definiciones:

- **Caldera:** conjunto formado por el cuerpo de caldera y el quemador, destinado a transmitir al agua el calor liberado por la combustión.
- **Caldera estándar:** caldera cuya temperatura media de funcionamiento puede limitarse a partir de su diseño.
- **Caldera de baja temperatura:** aquella que puede funcionar continuamente con temperaturas de retorno

de 35 a 40 °C y que en determinadas circunstancias puede producir condensación. Se incluyen las calderas de condensación de combustibles líquidos.

- **Caldera de gas de condensación:** diseñada para poder condensar de manera permanente una parte importante de los vapores de agua contenidos en los gases de combustión.

Un aspecto interesante de las definiciones es lo que resulta práctica habitual de denominar como caldera al conjunto caldera/quemador.

La definición de caldera estándar implica que la temperatura de retorno debe limitarse, según se ha analizado en los apartados anteriores.

Debido a las características de la combustión de los gases (mayor producción de agua) indicadas anteriormente, la Directiva ha reservado la definición de caldera de condensación para estos combustibles.

En el Anexo III de la Directiva se indican los rendimientos mínimos que deben cumplir los diferentes tipos de calderas; estos rendimientos se dan para la potencia nominal y para una carga parcial del 30%, habiéndose definido carga parcial (expresada en porcentaje) como la relación entre la potencia útil de una caldera que funcione de forma intermitente o a una potencia inferior a la potencia útil nominal, y esta misma potencia útil nominal. Para la carga parcial se fijan unas temperaturas medias de caldera de 30 °C para las de condensación, de 40 °C para las de baja temperatura y superiores a 50 °C para las calderas estándar. En la Tabla CLD-02 se indican estos requisitos; de ellos se deduce que la carga parcial en calderas de condensación y baja temperatura, debe estar asociada a trabajar en condiciones de temperatura inferiores a las nominales, en caso contrario estas calderas se comportarían como las estándar de alta calidad.

Además, en la Directiva, en el Anexo V, se dan los requisitos de rendimiento para conseguir el marcado CE de prestaciones energéticas de las calderas estándar; dicho marcado puede ser de una, dos, tres o cuatro estrellas, debiendo cumplir los rendimientos indicados en la Tabla CLD-03.

TABLA CLD-02: RENDIMIENTO MÍNIMO DE CALDERAS, SEGÚN TIPO Y POTENCIA (DIRECTIVA 92/42/CEE)

Tipo de caldera	Pot.	Potencia nominal		Carga parcial (0,3·Pn)	
	(kW)	Temperatura media (°C)	Rendimiento	Temperatura media (°C)	Rendimiento
Estándar	4 a 400	70	$\geq 84 + 2 \cdot \log P_n$	≥ 50	$\geq 80 + 3 \cdot \log P_n$
Baja temperatura	4 a 400	70	$\geq 87,5 + 1,5 \cdot \log P_n$	≥ 40	$\geq 87,5 + 1,5 \cdot \log P_n$
Condensación	4 a 400	70	$\geq 90 + \log P_n$	≥ 30	$\geq 97 + \log P_n$

TABLA CLD-03: REQUISITOS DE RENDIMIENTO MÍNIMO PARA MARCADO CON ESTRELLAS PARA CALDERAS ESTÁNDAR (DIRECTIVA 92/42/CEE)

Marca	Rend. a potencia nominal (%)	Rend. a carga parcial (%) 0,3 Pn
	Temperatura media 70 °C	Temperatura > 50 °C
*	$\geq 84 + 2 \cdot \log P_n$	$\geq 80 + 3 \cdot \log P_n$
**	$\geq 87 + 2 \cdot \log P_n$	$\geq 83 + 3 \cdot \log P_n$
***	$\geq 90 + 2 \cdot \log P_n$	$\geq 86 + 3 \cdot \log P_n$
****	$\geq 93 + 2 \cdot \log P_n$	$\geq 89 + 3 \cdot \log P_n$

Aplicando las ecuaciones dadas en la Directiva se obtienen los rendimientos mínimos exigidos para los distintos tipos de calderas y para diversas potencias. Los límites de aplicación de la Directiva son de 4 a 400 kW. En la Tabla CLD-04 se indican los rendimientos correspondientes a potencia nominal y carga parcial al 30% de la nominal; además, en la misma se incluyen los rendimientos exigidos por el Reglamento de Calefacción de 1981. Como se comprueba, estos requisitos eran muy inferiores a los actuales.

TABLA CLD-04: REQUISITOS DE RENDIMIENTO MÍNIMO SEGÚN TIPO DE CALDERA Y PORCENTAJE DE CARGA (DIRECTIVA 92/42/CEE)

Rendimientos mínimos de calderas según 92/42/CEE											
Potencia		70 kW		100 kW		200 kW		300 kW		400 kW	
% Carga		100%	30%	100%	30%	100%	30%	100%	30%	100%	30%
Estándar	ST*	87,69	85,54	88,00	86,00	88,60	86,90	88,95	87,43	89,20	87,81
	ST**	90,69	88,54	91,00	89,00	91,60	89,90	91,95	90,43	92,20	90,81
	ST***	93,69	91,54	94,00	92,00	94,60	92,90	94,95	93,43	95,20	93,81
	ST****	96,69	94,54	97,00	95,00	97,60	95,90	97,95	96,43	98,20	96,81
Baja temperatura		90,27	90,27	90,50	90,50	90,95	90,95	91,22	91,22	91,40	91,40
Condensación		92,85	98,85	93,00	99,00	93,30	99,30	93,48	99,48	93,60	99,60
IT.IC.04 (1981)		80		80		83		83		83	
IT.IC.04 (1981)		<60	75	<150	80	<800	83	<2.000	85	>2.000	87

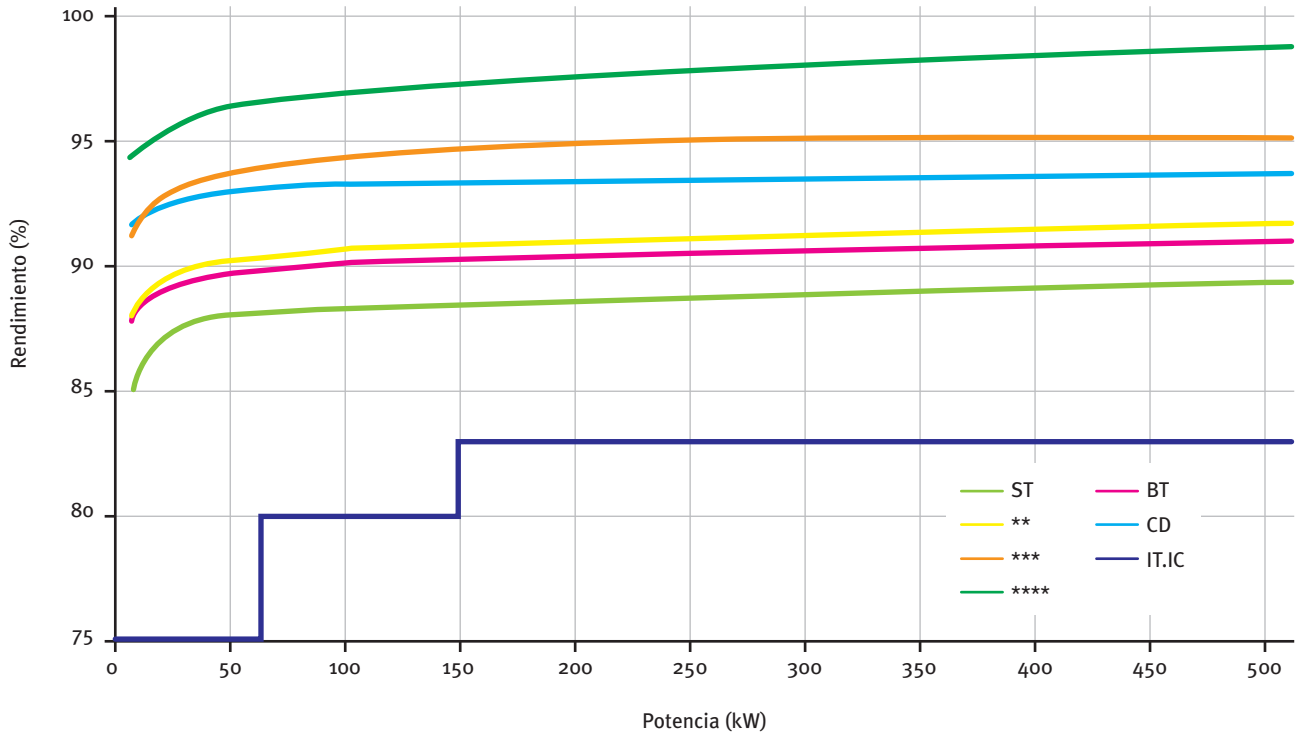
Para potencias superiores a 400 kW, en el RITE se exigen los mismos rendimientos que para las de 400 kW.

Del análisis de la misma se tiene que la Directiva exige que las calderas de baja temperatura mantengan, al 30% de la potencia nominal, el mismo rendimiento que a plena potencia. Las calderas de condensación deben dar más rendimiento a carga parcial que a plena carga; sin embargo, las calderas estándar pueden disminuir su rendimiento a carga parcial.

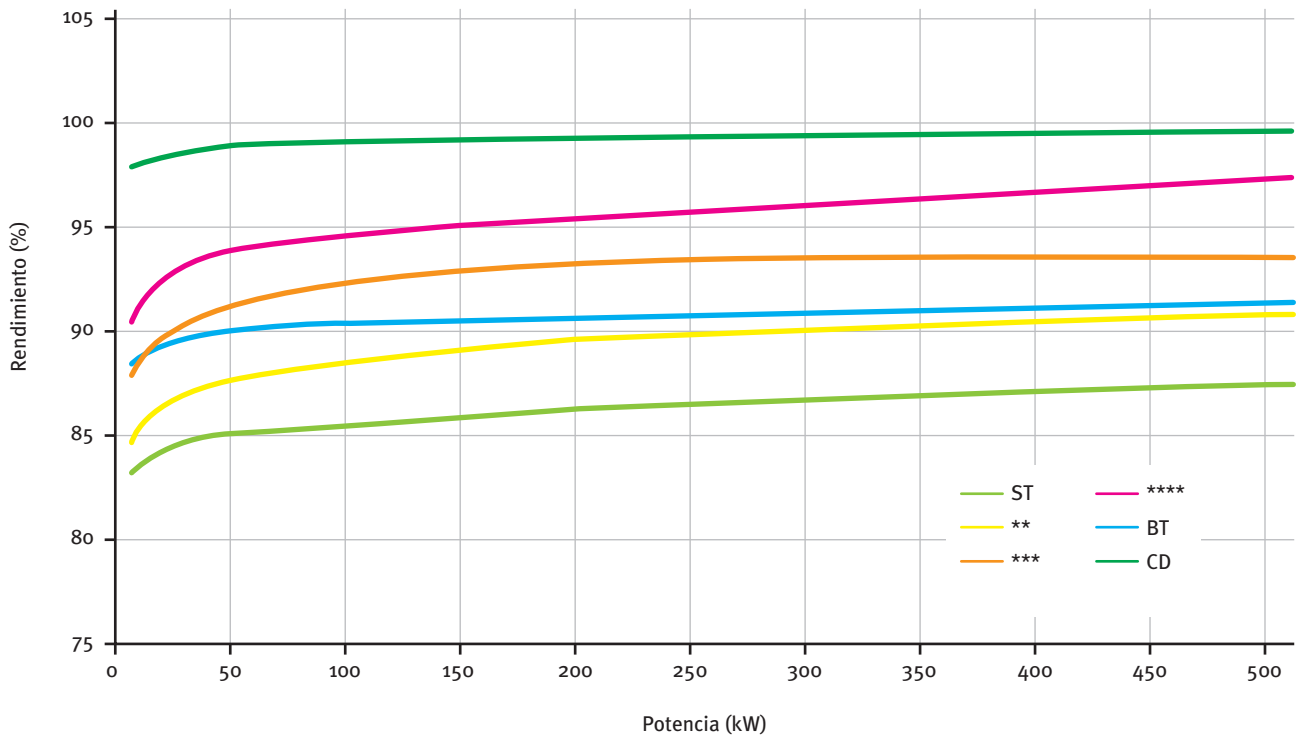
Sólo pueden comercializarse o entrar en servicio calderas que cumplan los rendimientos anteriormente indicados; además, en el caso de calderas a gas, se deben cumplir los requisitos dados en la Directiva 90/396 CEE sobre aparatos a gas.

Asimismo, en el Artículo 2, se indica que en el caso de calderas de doble función, calefacción de locales y suministro de ACS los requisitos de rendimiento sólo se aplican a la función de calefacción. Este aspecto resulta algo chocante, ya que en nuestro país el consumo de energía para agua caliente sanitaria es proporcionalmente alto, incluso hay algunas zonas de severidad climática (A y B) donde puede resultar incluso superior al de calefacción.

Curvas de rendimiento de calderas al 100% de la potencia



Curvas de rendimiento de calderas al 30% de la potencia



En estos gráficos se comprueba la diferencia de rendimientos que han de proporcionar los distintos tipos de calderas; por este motivo se deben contemplar fraccionamientos de potencia que consideren estas características, permitiendo instalar menos calderas en el caso de calderas de mayor rendimiento.

En la curva de rendimientos al 30% se observa la conveniencia de que ciertos tipos de calderas trabajen a carga parcial, pero siempre asociadas a sistemas de regulación que permitan disminuir la temperatura de producción a carga parcial, ya que en caso contrario no se aprovecharía este efecto.

4.4 DIRECTIVA 2005/32/CEE

Mediante el Real Decreto 1.369/2007 de 19 de octubre se ha transpuesto la Directiva 2005/32 CEE que establece los requisitos de etiquetado ecológico aplicables a los productos que utilizan energía.

En esa directiva se indica expresamente que el mercado de calderas por el sistema de estrellas no ha cumplido los objetivos previstos y que por lo tanto debe ser anulado; por lo que en la actualidad se tiene un mercado por estrellas que no es aceptable, pero que aún no ha sido sustituido.

La clasificación en estándar, baja temperatura y condensación sigue siendo correcta, habiéndose anulado únicamente los apartados del mercado por estrellas para calderas estándar.

Parece coherente que para las calderas se establezca un etiquetado con letras similar al de otros productos, y que el mismo se base en el rendimiento medio estacional, de manera que todos los tipos de calderas sean directamente comparables.

Mientras no se disponga del mismo, lo coherente es analizar las aplicaciones con los criterios indicados en los apartados anteriores; los tipos de calderas y su comportamiento dependerán de los rendimientos a carga total y a carga parcial y de las temperaturas de funcionamiento en cada caso, debiendo solicitar de los fabricantes estos datos, al margen del etiquetado, como especifica el RITE.

Para seleccionar las calderas es imprescindible que el fabricante aporte los rendimientos en diferentes condiciones de carga (mínimo al 100% y al 30%) y con las temperaturas de funcionamiento correspondientes a cada una

5

Rendimiento del conjunto quemador/caldera/chimenea

Este tema está desarrollado en la Guía Técnica: “Procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas”, a la cual se remite, si bien en este apartado se analizan los aspectos fundamentales del rendimiento a tener en cuenta para el diseño de las centrales de producción de calor.

5.1 RENDIMIENTO DE LA COMBUSTIÓN

En la combustión el calor máximo que puede obtenerse es el Poder Calorífico del combustible (PCI o PCS), habitualmente referido al PCI; si bien en la práctica al realizar la combustión, una parte del calor producido se pierde, asociado a los productos de la combustión. Estas pérdidas son de dos tipos:

- Entalpía de los productos de la combustión (Q_h): corresponde al calor utilizado en calentar los humos hasta la temperatura a la cual escapan por la chimenea, ya que a partir de ese punto el calor que llevan no se recupera. Evidentemente estas pérdidas son mayores cuanto más altas sean las temperaturas de humos; asimismo aumentan con el exceso de aire, ya que con el mismo se incrementa la masa de humos, transportando mayor energía.
- Pérdidas por inquemados (Q_i): corresponden al poder calorífico de los productos de la combustión que no han sido totalmente oxidados; se presentan

en el caso de combustiones incompletas, siendo más altas cuanto más inquemados se originen.

Por tanto, el rendimiento de la combustión se expresa como:

$$\eta_c = (PCI - Q_{hs} - Q_i)/PCI = 1 - Q_h/PCI - Q_i/PCI$$

$$\eta_c = 1 - q_i - q_h$$

Para obtener el máximo rendimiento de combustión, ésta debe ajustarse de modo que se logre la combustión completa con el menor exceso de aire posible; además, el gasto de combustible debe ajustarse de modo que se obtengan las temperaturas de humos más bajas posibles, produciendo la potencia necesaria para el servicio.

5.2 PÉRDIDAS POR LA ENVOLVENTE DE LA CALDERA (Q_{rc})

En el conjunto caldera-quemador, además del rendimiento de combustión, hay que tener en cuenta las pérdidas por convección-radiación a través de la envolvente de la propia caldera, debidas a que la misma se encuentra a una temperatura mayor que la del ambiente.

Para disminuir estas pérdidas las calderas se aíslan térmicamente.

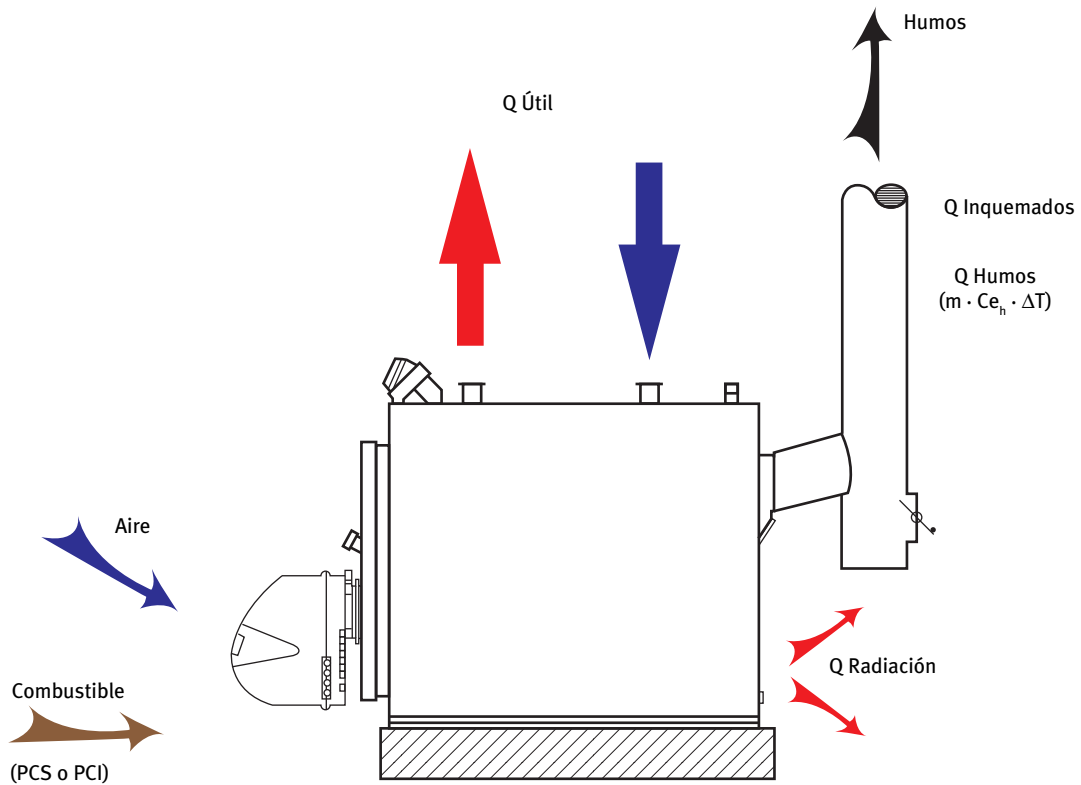


Figura RTO-01: Factores del rendimiento de generación instantáneo

5.3 RENDIMIENTO DE GENERACIÓN INSTANTÁNEO

Es el rendimiento puntual considerando las pérdidas en humos, inquemados y por la envolvente de la caldera.

$$\eta_G = 1 - q_i - q_h - q_{rc}$$

El rendimiento de generación instantáneo depende fundamentalmente del diseño del conjunto caldera quemador, con el cual se alcanzará la potencia necesaria con menores temperaturas de humos debido a la adecuada transmisión del calor al agua; el adecuado aislamiento térmico reduce las pérdidas en la envolvente, las cuales dependen a su vez de la temperatura del agua de la instalación.

Por último, la chimenea debe proporcionar un tiro adecuado, manteniendo las condiciones óptimas de funcionamiento del conjunto caldera/quemador; si el tiro es insuficiente se pueden tener problemas de seguridad, por el contrario, si resulta excesivo, puede modificar el ajuste de la combustión induciendo un mayor exceso de aire.

Como los generadores de calor deben adecuarse a las demandas instantáneas de los edificios, el rendimiento

de generación instantáneo se analiza con diferentes cargas, habitualmente al 30% y al 100% de la potencia del equipo. En equipos estándar a carga parcial las pérdidas en la envolvente se mantienen, por lo que pueden reducir su rendimiento frente al obtenido a carga total.

5.4 RENDIMIENTO MEDIO ESTACIONAL

En los periodos durante los cuales una caldera permanece en disposición de funcionamiento, pueden distinguirse tres situaciones diferenciadas:

- Funcionamiento.
- Paradas.
- Arrancadas.

5.4.1 Funcionamiento

Son los periodos en los que los quemadores están en funcionamiento, durante los cuales se aporta calor al

agua de la instalación. Las pérdidas de calor en esos periodos son debidas a:

- Entalpía de humos.
- Inquemados.
- Radiación-Convección a través de la envolvente de caldera.

Pérdidas en funcionamiento = $Q_h + Q_i + Q_{rc}$

El rendimiento coincide con el rendimiento instantáneo del conjunto caldera-quemador-chimenea, correspondiente al régimen de carga de cada momento.

5.4.2 Paradas

El quemador permanece parado sin aportación de calor al agua; sin embargo, se dan dos tipos de pérdidas de calor:

- Radiación-Convección a través de la envolvente de caldera.
- Ventilación interna, debida al tiro de aire que se induce a través del circuito de humos.

Pérdidas en paradas = $Q_{rc} + Q_v$

En estos periodos no se puede hablar de rendimiento, ya que únicamente hay pérdidas y no existe aportación de calor útil; sin embargo, estas pérdidas deben ser compensadas en el siguiente ciclo de funcionamiento.

Las pérdidas por ventilación interna varían según el tipo de caldera. Habitualmente son mayores en las calderas atmosféricas, cuya cámara de combustión es abierta; también depende del tiro creado por la chimenea, siendo mayores las pérdidas cuanto más alto sea el mismo.

Para reducirlas los quemadores mecánicos deben cerrar el paso de aire durante las paradas; asimismo, en las chimeneas deben colocarse estabilizadores de tiro que provoquen la entrada directa de aire, reduciendo el tiro en las cámaras de combustión. En las calderas atmosféricas esta función la cumplen los cortatiros; los estabilizadores de tiro lo hacen en las calderas de sobrepresión.

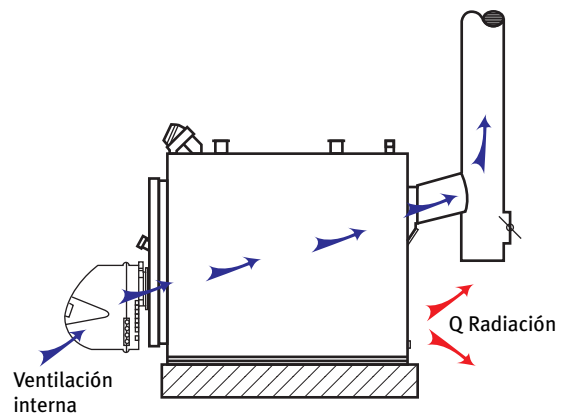


Figura RTO-02: Pérdidas en las paradas

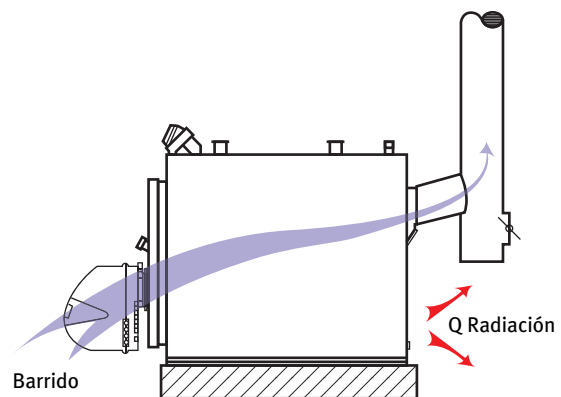


Figura RTO-03: Pérdidas en las arrancadas

5.4.3 Arrancadas

Corresponden a los ciclos de barrido del hogar, anteriores a la entrada en funcionamiento de los quemadores, durante los cuales se mantienen las pérdidas por Radiación-Convección, pero se incrementan en gran medida las de ventilación interna, ya que la circulación del aire es forzada por el ventilador del quemador.

Pérdidas en arrancada = $Q_{rc} + Q_{ba}$

En las calderas atmosféricas estas pérdidas no se presentan, ya que al ventilar la cámara de combustión de manera continua, no requieren los ciclos de barrido antes del arranque, compensando en cierto modo las pérdidas por ventilación inducida de las paradas.

5.5 CÁLCULO DEL RENDIMIENTO MEDIO ESTACIONAL

El tiempo total de disposición de funcionamiento del generador de calor es la suma de los periodos de funcionamiento + paradas + arrancadas.

$$H_s = H_f + H_p + H_A$$

El calor total aportado será el producto de las horas de funcionamiento de los quemadores por la potencia nominal (en el caso de quemadores de dos o más marchas o modulantes, esta potencia será la media ponderada, correspondiente a cada porcentaje de carga, a lo largo del periodo analizado).

$$Q_T = P_N \cdot H_f$$

Recordando que P_N realmente es la media ponderada del número de marchas del quemador con los tiempos correspondientes a cada porcentaje de carga.

Esta energía se distribuye entre la energía útil entregada al agua de la instalación más la necesaria para compensar las pérdidas en funcionamiento, paradas y arranques; por lo que el calor útil entregado al agua resulta:

$$Q_U = P_N \cdot H_f - H_f \cdot (Q_h + Q_i + Q_{rc}) - H_p \cdot (Q_{rc} + Q_v) - H_A \cdot (Q_{rc} + Q_{ba})$$

El rendimiento de generación estacional será el cociente entre la energía útil entregada al agua de la instalación y la energía total consumida en quemadores:

$$\eta_{GE} = \frac{P_N \cdot H_f - H_f \cdot (Q_h + Q_i + Q_{rc}) - H_p \cdot (Q_{rc} + Q_v) - H_A \cdot (Q_{rc} + Q_{ba})}{P_N \cdot H_f}$$

$$\eta_{GE} = [1 - (Q_h + Q_i + Q_{rc}) / P_N] - H_p \cdot (Q_{rc} + Q_v) / (P_N \cdot H_f) - H_A \cdot (Q_{rc} + Q_{ba}) / (P_N \cdot H_f)$$

El cociente entre las pérdidas y la potencia nominal es el % de cada tipo de pérdidas por lo que la expresión del rendimiento de generación estacional queda:

$$\eta_{GE} = [1 - (q_h + q_i + q_{rc})] - (q_{rc} + q_v) \cdot (H_p/H_f) - (q_{rc} + q_{ba}) \cdot (H_A/H_f)$$

El primer término es el rendimiento de generación instantáneo (ponderado por el porcentaje de tiempo de funcionamiento en cada carga de las marchas del quemador) del conjunto caldera-quemador-chimenea; por lo que el rendimiento de generación estacional queda:

$$\eta_{GE} = \eta_G - (q_{rc} + q_v) \cdot (H_p/H_f) - (q_{rc} + q_{ba}) \cdot (H_A/H_f)$$

En la expresión anterior se comprueba como el rendimiento de generación estacional siempre es inferior al rendimiento de generación instantáneo; en el caso óptimo puede llegar a ser igual.

El rendimiento de generación estacional disminuye cuando aumenta el número de horas de disposición de servicio con el quemador parado. Asimismo también disminuye si aumenta el número de arrancadas.

Como conclusiones:

*	Se deben seleccionar equipos con rendimientos instantáneos altos; es decir, con temperaturas de humos bajas y pérdidas por la envolvente reducidas.
*	La potencia instalada debe ser ajustada a las necesidades del edificio, de modo que se obtengan periodos de funcionamiento largos con paradas reducidas; para ello se debe tener un escalonamiento de potencia adecuado, mediante conjunto con varias marchas, o mejor modulantes, y/o con varios generadores de calor.
*	Deben adoptarse medidas para reducir las pérdidas por ventilación interna en las paradas, quemadores con cierre de la toma de aire en las paradas, estabilizadores de tiro en chimenea con apertura de entrada de aire en las paradas, etc.
*	Reducir el número de arrancadas ya que los barridos incrementan las pérdidas, lo que puede lograrse con una correcta selección del escalonamiento de potencia.

La selección de los escalones de potencia disponibles debe efectuarse de manera que se tenga el menor número de paradas y arrancadas posible

6

Instalación de calderas de potencia superior a 70 kW

En este apartado se analizan los condicionantes para la instalación de calderas centrales (potencia superior a 70 kW). En el mismo se indica el objetivo de cada medida; en diversas instrucciones del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) se especifican algunas de ellas.

Todas las calderas utilizadas en este tipo de instalaciones deben cumplir la Directiva 92/42/CEE, la misma fue transpuesta por el Real Decreto 275/1995 (ITE 1.2.4.1.2.1). Además, en el caso de calderas a gas cumplirán la Directiva 90/396/CEE, que a su vez fue transpuesta por el Real Decreto 1.428/1992 de 27 de noviembre (IT 1.3.4.1.1).

Los generadores térmicos (calderas y quemadores) incorporarán el Marcado CE (Artículo 18), con el cual se tiene constancia de que los equipos cumplen con las directivas que les son de aplicación.

6.1 BANCADAS

Las calderas se colocarán sobre una bancada de inercia cuando no posean una base propia suficientemente rígida. Esta bancada será de hormigón o acero, de tal forma que tenga suficiente inercia para evitar el paso de vibraciones al edificio. Entre la bancada y la estructura del edificio deben interponerse elementos antivibratorios (CTE HR 3.3.2.4).

La bancada puede ser sustituida por los soportes antivibratorios que algunos fabricantes ofrecen, especialmente diseñados para cada equipo.

6.2 LLAVES DE CORTE Y VACIADO

Cada caldera dispondrá de llaves de corte en las conducciones de ida y retorno, de modo que pueda aislarse del resto sin necesidad de vaciar previamente toda la instalación (IT 1.3.4.2.3).

Asimismo, cada caldera tendrá su propio vaciado de agua; la sección mínima de la tubería de vaciado será de 20 mm. La conexión entre la llave de vaciado y el desagüe se hará de forma que el paso de agua resulte visible (IT 1.3.4.2.3). Este vaciado, asociado a las llaves de corte, es imprescindible para poder efectuar las reparaciones correspondientes sin afectar al resto de la instalación.

6.3 VÁLVULAS DE SEGURIDAD

Por tratarse de circuitos cerrados es obligatorio que cada caldera disponga de una válvula de seguridad (IT 1.3.4.2.5) que tendrá un dispositivo de accionamiento manual para pruebas que, cuando sea actuado, no modifique su tarado; además su descarga será visible y estará conducida a lugar seguro.

El objetivo de estas válvulas es evitar que en la instalación se produzcan sobrepresiones que puedan deteriorarla, independientemente de como hayan actuado el resto de los órganos de control y seguridad (termostatos). Este aspecto es crítico ya que una sobrepresión puede provocar accidentes por piezas metálicas que salgan despedidas, además de la rotura de los propios equipos; por todo ello deben estar directamen-

te conectadas a los generadores de calor, que son los puntos donde al incrementar la temperatura se pueden producir directamente las sobrepresiones.

Debido a su importancia, deben ser revisadas periódicamente por el personal de mantenimiento; para ello es necesario el dispositivo de comprobación manual, que evidentemente no debe modificar su tarado.

El requisito de que la descarga sea visible es verificar su actuación en las comprobaciones periódicas y su estado si se observa que están descargando en el funcionamiento habitual de las instalaciones. Teniendo en cuenta que en caso de actuación, o comprobación, van a evacuar vapor a alta temperatura la descarga debe ser conducida de manera que no provoque accidentes sobre el personal que en ese momento se encuentre en la sala. En muchas ocasiones, este último requisito ha sido interpretado como la obligación de conducir la descarga al desagüe de la sala o al vaciado de las instalaciones; sin embargo, teniendo en cuenta que es muy importante saber si la válvula ha actuado, puede plantearse la conveniencia de conducir la descarga a un punto en el suelo de la sala, donde no origine riesgos y que, por el contrario, permita al personal de mantenimiento confirmar que la misma ha disparado.

La válvula estará dimensionada por el fabricante del equipo (IT 1.3.4.2.5), para ello, en la documentación técnica de la caldera se incluirá el diámetro de conexión de la válvula; sin embargo, para la presión de tarado de la misma no es suficiente con tener en cuenta la presión de trabajo de las calderas, ya que debe analizarse cuál es la correspondiente al elemento más débil de la instalación. No debe olvidarse que las válvulas de seguridad deben proteger a todo el circuito cerrado; en ocasiones hay otros elementos como los vasos de expansión, bombas etc., cuya presión de trabajo es inferior a la de las propias calderas. Esta situación cobra mayor relevancia cuando las calderas se ubican en las cubiertas de los edificios; a veces, dependiendo de la altura del edificio suele suceder que los elementos más afectados son los emisores de las plantas bajas, debiendo modificarse la presión de tarado de las válvulas de seguridad de las calderas, o instalarse otras válvulas para proteger a los elementos más débiles.

Por ejemplo, supongamos un edificio de viviendas en bloque de 40 m de altura, en el cual las calderas se encuentran situadas en cubierta con una presión de trabajo de 6 bar, mientras que los radiadores en planta baja tienen 9 bar de presión de trabajo. Si las válvulas de seguridad seleccionadas fuesen de 6 bar, adecuadas a la presión de trabajo de las calderas, el efecto de esta presión sobre los radiadores de la planta baja sería de 10 bar (6+4 debido

a la presión estática originada por la altura del edificio), superior a su presión de trabajo. Por esto, el modo correcto de seleccionar la presión de tarado es comprobar la presión del elemento más débil, teniendo en cuenta su posición relativa en el circuito completo respecto al punto donde se vayan a colocar las válvulas de seguridad. En este caso, al estar los radiadores 40 m por debajo de ese punto, la presión máxima admisible en el mismo será: $90-40 = 50$ mCA. Por lo tanto, las válvulas de seguridad deberán tener una presión máxima de tarado de 5 bar.

En las instalaciones donde los generadores se colocan en las plantas de cubierta, pero los colectores y otros elementos se ubican en los sótanos, este detalle cobra mayor importancia, obligando a seleccionar equipos (por ejemplo, bombas de circulación) con mayor presión de trabajo (por ejemplo, PN10 en lugar del habitual PN6).

6.4 PRESOSTATOS

Además de los problemas originados por las sobrepresiones, en las instalaciones se pueden dar otros debidos a la falta de presión mínima que garantice el correcto funcionamiento de todos los equipos; por ello se deben instalar dispositivos de seguridad que impidan la puesta en marcha de las instalaciones si no se tiene la presión mínima necesaria (presostatos) (IT 1.3.4.2.5).

En este sentido, además de las propias calderas, en las que la falta de presión mínima puede provocar vaporizaciones indeseadas o falta de circulación de agua, los elementos más sensibles son las bombas de circulación que en la aspiración requieren una presión mínima variable con la temperatura de trabajo; a mayor temperatura mayor presión (ver *Guía Técnica nº 10: "Selección de equipos de transporte de fluidos"*).

Para seleccionar la presión de tarado de los presostatos debe analizarse la presión mínima necesaria en todos los equipos considerando su posición relativa en la instalación.

6.5 EXPANSIÓN

Los cambios de temperatura del agua de la instalación provocan variaciones en su volumen, que si no son absorbidos por algún elemento, al ser el agua un fluido incompresible, crearán sobrepresiones en los circuitos; los elementos encargados de absorber estas dilataciones son los denominados vasos de expansión, que deberán ser de tipo cerrado (IT 1.3.4.2.4).

Para el diseño y dimensionado de los sistemas de expansión se puede aplicar lo indicado en la norma UNE 100.155. En anteriores versiones de la reglamentación se requería que entre los generadores de calor y el sistema de expansión no existiesen llaves de corte, este era un requisito heredado del uso de vasos de expansión abiertos, en los que el vaso cumplía la doble misión de absorber las dilataciones y actuar como seguridad ante sobrepresiones; sin embargo, los vasos de expansión cerrados deben asociarse al uso de válvulas de seguridad, siendo éstas las que estén en conexión directa (sin llaves de corte intermedias) con los generadores.

Para facilitar el mantenimiento de los vasos de expansión cerrados es conveniente que en la conexión a los mismos se instalen llaves de corte que permitan aislarlos de la instalación para efectuar las comprobaciones.

A pesar de ello es recomendable que exista un vaso de expansión independiente para cada caldera; el volumen del cual será el necesario para compensar exclusivamente las dilataciones del agua de la caldera correspondiente, debiendo existir vasos de expansión cerrados en los diferentes circuitos, cada uno de ellos con volumen adecuado a la parte de la instalación a la que se encuentre asignado.

6.6 TERMOSTATOS

Cada caldera dispondrá, como mínimo, de los siguientes termostatos:

- Termostatos de funcionamiento: tendrá un termostato, de rearme automático, por cada marcha del quemador.
- Termostato de seguridad: existirá un termostato, de rearme manual, tarado a una temperatura superior a las de funcionamiento (IT 1.3.4.1.1).
- Termostato de humos: aunque de acuerdo con el RITE no es estrictamente obligatorio ya que admite que se trate simplemente de un termómetro de humos (IT 1.3.4.4.5), en el conducto de humos se dispondrá un termostato de rearme manual, que actúe si en los humos se dan temperaturas excesivas.

La misión de los termostatos de funcionamiento es detener la marcha de los quemadores cuando se alcancen las temperaturas de consigna, de modo que la producción se adecue a las necesidades instantáneas; son necesarios tantos termostatos como marchas tengan los quemadores para poder aprovechar correctamente los escalones

de potencia, ya que de no actuar sobre las marchas de menor potencia, los quemadores tendrían un número más elevado de arrancadas y paradas, lo que provocaría una disminución del rendimiento medio estacional.

Estos termostatos serán de rearme automático, de modo que los quemadores arranquen y paren en función de las consignas.

La misión de los termostatos de funcionamiento puede ser asumida por los equipos de regulación externos al quemador (centrales de regulación, autómatas programables, etc.).

Si los quemadores son modulantes los termostatos son sustituidos por la regulación proporcional correspondiente.

El termostato de seguridad debe actuar cuando hayan fallado los de funcionamiento, en cuyo caso el quemador no se detiene cuando se alcanzan las temperaturas de consigna y continúa aportando calor a la caldera, pudiéndose alcanzar temperaturas peligrosas, por este motivo debe ser de rearme manual, de modo que quede constancia del funcionamiento anómalo de la instalación, debiéndose tomar las medidas oportunas para corregir esta disfunción.

El termostato de humos tiene como misión controlar que el conjunto caldera-quemador está proporcionando los rendimientos mínimos requeridos, ya que si la temperatura de humos se eleva excesivamente, las pérdidas por la chimenea son muy altas, por lo cual debe ser de rearme manual, de manera que exista la obligación de corregir las causas que provocan este problema; además de la función de ahorro de energía asociado al corte por temperatura elevada de humos, también cumple una función de seguridad, ya que si no existiese este control podrían darse casos de temperaturas de humos peligrosas, que pudieran llegar incluso a originar incendios.

6.7 TERMÓMETROS

Cada caldera dispondrá como mínimo de los siguientes termómetros (IT 1.3.4.4.5):

- Uno en la impulsión y otro en el retorno; habitualmente el termómetro de impulsión viene incorporado en la propia caldera; sin embargo, el de retorno suele ser necesario instalarlo en la tubería.
- Uno en el conducto de humos; suelen incorporar los propios pirostatos.

La misión de los mismos es proporcionar datos sobre el estado de funcionamiento de la instalación en cada momento. Tendrán el sensor en el interior de la tubería, no pudiendo instalarse termómetros de contacto; estarán situados en lugares visibles y tendrán un tamaño apropiado y una escala que permita que los valores habituales de cada circuito se encuentren en el tercio central.

6.8 CONTADORES DE HORAS Y ENERGÍA

Para poder valorar el rendimiento de generación estacional de las instalaciones es preciso disponer de equipos de medida que lo permitan; por ello, para las calderas se establecen los siguientes equipos mínimos (IT 1.2.4.4):

- Contador de horas de funcionamiento para cada caldera de potencia superior a 70 kW.
- Contadores de combustible y energía eléctrica para conjuntos térmicos con potencia superior a 70 kW.
- Contador de energía térmica para conjuntos de generadores de potencia superior a 400 kW.

6.9 CAUDAL MÍNIMO

Durante su funcionamiento en el interior de las calderas se producen zonas con diferencias térmicas muy altas,

desde más de 1.500 °C en la zona de llama, hasta menos de 200 °C en la caja de humos. Estas diferencias pueden provocar tensiones muy fuertes entre los materiales constitutivos de las mismas, debidas a dilataciones diferenciales, por lo que es necesario garantizar un caudal mínimo de circulación de agua para que la caldera se refrigere adecuadamente. Este caudal debe ser el indicado por el fabricante de la caldera.

Es aconsejable diseñar las instalaciones asegurando el caudal nominal permanente por cada caldera. Se entiende por caudal nominal aquel que se corresponde con la potencia de la caldera trabajando en las condiciones de salto térmico de diseño (5 °C, 10 °C, 15 °C, 20 °C, etc.), mientras que el caudal mínimo, inferior al nominal, se corresponde con el de seguridad indicado por el fabricante.

Para controlar que se ha establecido dicho caudal, se debe instalar un interruptor de flujo, de modo que no se permita el arranque del quemador si la circulación de agua no es adecuada; este dispositivo es obligatorio excepto si el fabricante especifica que por diseño la caldera no requiere circulación mínima (IT 1.3.4.1.1).

La forma de controlar el caudal mínimo por caldera no esta reglamentada y depende del tipo de regulación que se haya diseñado para el conjunto de la instalación; las diferentes alternativas se definen en el apartado de la central térmica.

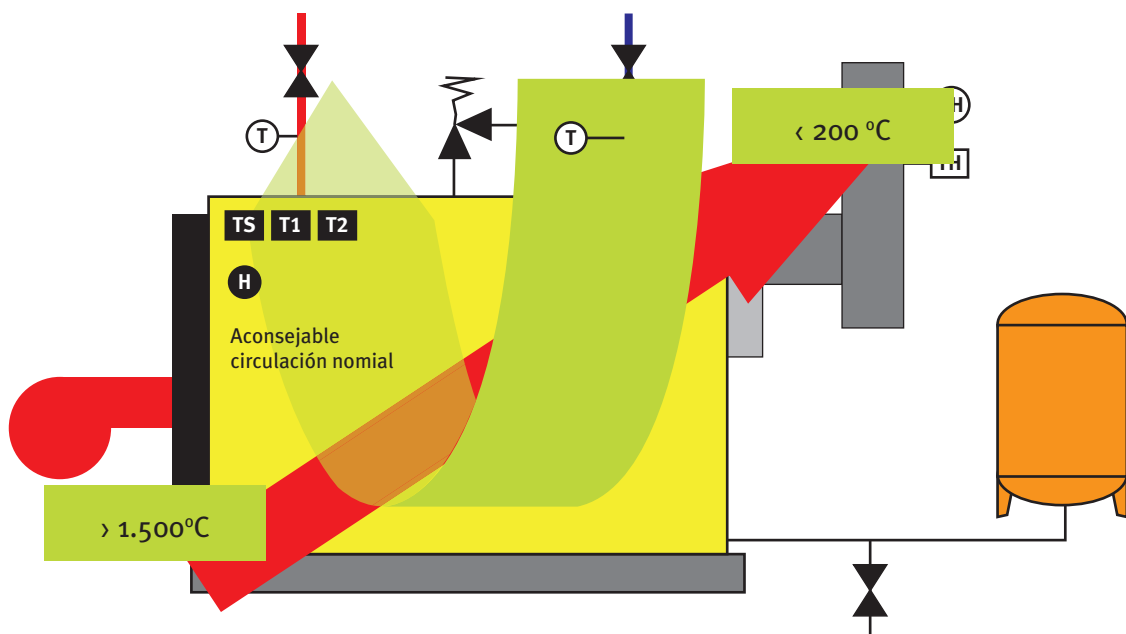


Figura INSTCLD-01: Circulación mínima

6.10 TEMPERATURA MÍNIMA DE RETORNO

Si la temperatura de retorno a caldera es demasiado baja, como se ha visto en el apartado 3, se pueden producir en la zona final del recorrido de humos, por su interior, condensaciones del agua generada en la combustión; estas condensaciones pueden deteriorar la caldera, por ello hay que tomar las medidas precisas para evitarlas.

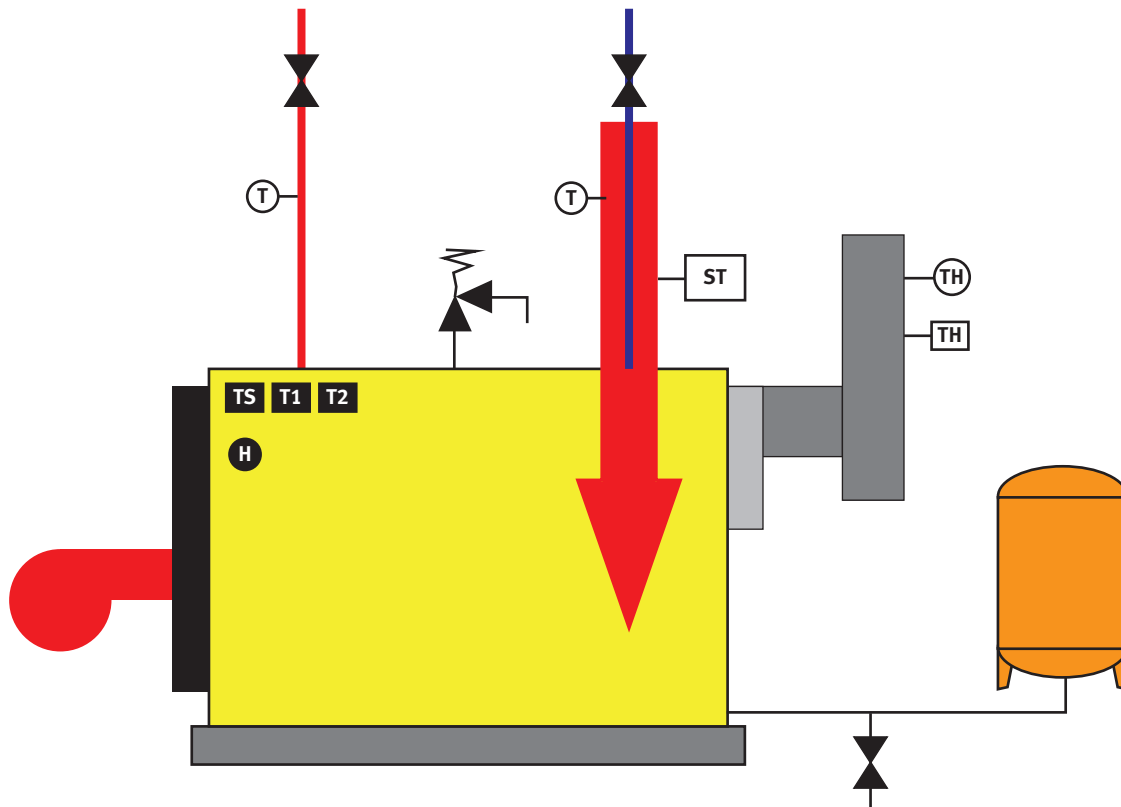


Figura INSTCLD-02: Temperatura mínima de retorno

Para conseguir que las temperaturas de retorno a caldera no bajen de dicho valor, se debe actuar sobre las regulaciones de los circuitos de consumo, de modo que no comiencen a demandar calor hasta que el circuito de calderas no haya alcanzado la temperatura adecuada; la solución de bomba de circulación en by-pass, en numerosas ocasiones denominada como “anticondensación”, no es una solución eficaz, ya que si en un momento determinado la instalación demanda más potencia que la que son capaces de proporcionar las calderas, la temperatura de retorno baja irremisiblemente; la misión real de esas bombas es mantener la circulación mínima requerida.

La temperatura mínima de retorno debe ser indicada por el fabricante de la caldera, ya que existen calderas con diseños especiales que permiten trabajar con temperaturas de retorno bajas sin peligro de condensación (calderas de baja temperatura) e incluso calderas que, para aumentar el rendimiento, provocan las condensaciones (calderas de condensación).

6.11 RECOGIDA DE CONDENSADOS

Si las calderas instaladas son de condensación se pretende que se produzcan condensaciones en el interior de las mismas, por ello se debe instalar un sistema para la recogida de estas condensaciones. Aunque aún no se ha reglamentado en este sentido, lo más adecuado es prever un dispositivo para su neutralización; teniendo en cuenta la acidez de los

condensados (pHs del orden de 3) los neutralizadores se componen de un elemento básico, que por reacción con el ácido se va transformando en una sal (ácido + base = sal + agua) evacuándose agua; evidentemente, el componente básico debe renovarse periódicamente.

La descarga al desagüe se efectúa por gravedad o con bomba; los propios fabricantes de calderas suministran estos equipos.

Aunque las calderas instaladas no sean de condensación, durante breves periodos en la arrancada de las instalaciones se producen condensaciones y en el funcionamiento normal, sucede lo mismo en las chimeneas; en el interior de las calderas, las condensaciones se evaporan cuando la instalación alcanza el régimen habitual de funcionamiento, pero en ocasiones no es así y muchos fabricantes incorporan en el fondo de caldera una recogida para las mismas, que debe conectarse al desagüe. En este caso, debido a su pequeño caudal, no es necesario neutralizarlas.

6.12 PROTECCIÓN ACÚSTICA DE LOS QUEMADORES MECÁNICOS

Los quemadores mecánicos, sobre todo los de altas potencias, son equipos con gran potencia sonora, por ello en ocasiones es conveniente cubrirlos con una envolvente acústica, que además mejora el rendimiento del generador, ya que el mismo recupera parte de las pérdidas por radiación del frente de caldera.

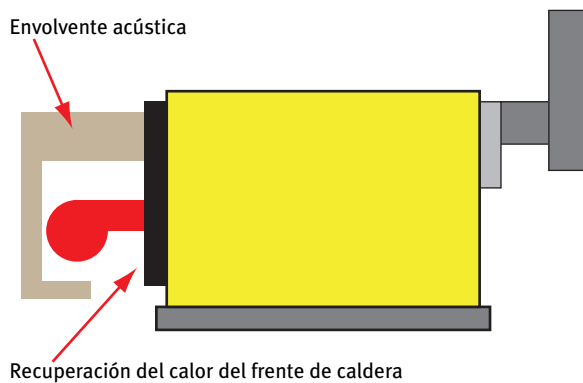


Figura INSTCLD-03: Atenuador acústico para quemadores mecánicos

6.13 EVACUACIÓN DE HUMOS

Cada caldera dispondrá de su propio conducto de humos que la conecte con la chimenea; para potencias superiores a 400 kW cada caldera dispondrá de su propia chimenea, si bien siempre es aconsejable que cada caldera tenga su propia chimenea independiente.

Aunque no es obligatorio, es conveniente que en el conducto de humos se coloque un elemento estabilizador de tiro. Los más sencillos se componen simplemente de una compuerta con un contrapeso que mantiene en la base de la chimenea el tiro adecuado para una correcta combustión; si el tiro aumenta la compuerta se abre permitiendo la entrada de aire secundario, lo que incrementa el caudal de humos y disminuye su temperatura y por lo tanto reduce el tiro, en caso contrario se cierra la compuerta con el efecto contrario, menor caudal de humos y mayor temperatura con el consiguiente incremento de tiro. De este modo el tiro queda continuamente estabilizado.

Los estabilizadores más completos incorporan un servomotor que en las paradas de la caldera abren totalmente la compuerta, reduciendo la ventilación parásita a través de la caldera, lo que unido al cierre de la compuerta de aire de los quemadores mejora el rendimiento medio estacional; además, como efecto beneficioso durante las paradas, el aire inducido “limpia” la chimenea evaporando las condensaciones que se estén produciendo en la misma.

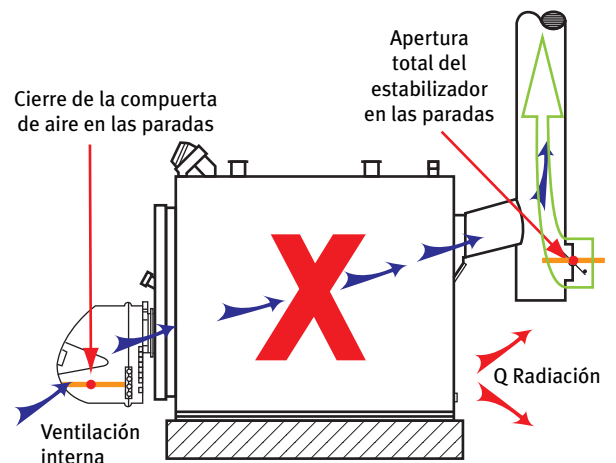


Figura INSTCLD-03: Estabilizador de tiro

En las calderas atmosféricas esta misión la cumple el cortatiros, si bien a través de los quemadores suelen presentar mayores ventilaciones parásitas en las paradas.

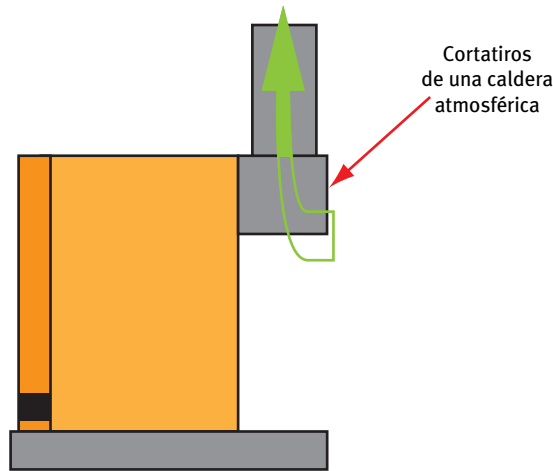


Figura INSTCLD-04: Cortatiros de una caldera atmosférica

Las chimeneas tendrán en su base un elemento en “fondo de saco” para limpieza y recogida de condensados, agua de lluvia, etc. En cubierta terminarán en un elemento que permita dispersar adecuadamente los humos, sin deflectores u otros elementos que dificulten esta misión.

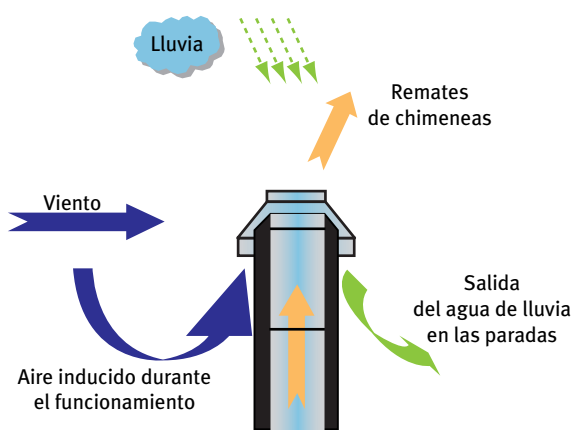


Figura INSTCLD-05: Remates de las chimeneas para una correcta dispersión de los humos



Figura INSTCLD-05: Remates de las chimeneas para una correcta dispersión de los humos

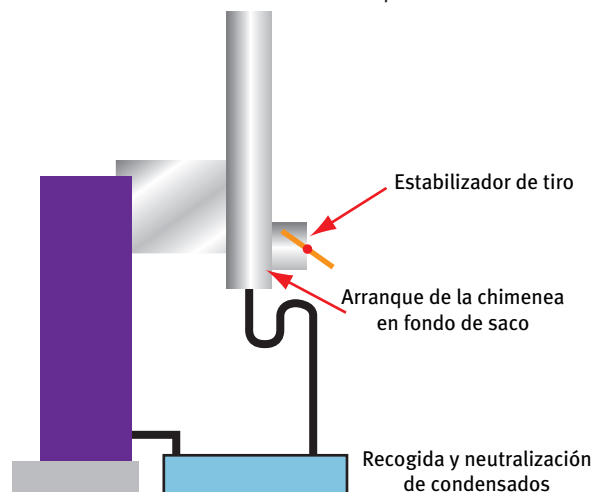


Figura INSTCLD-06: Dispositivos en la base de la chimenea

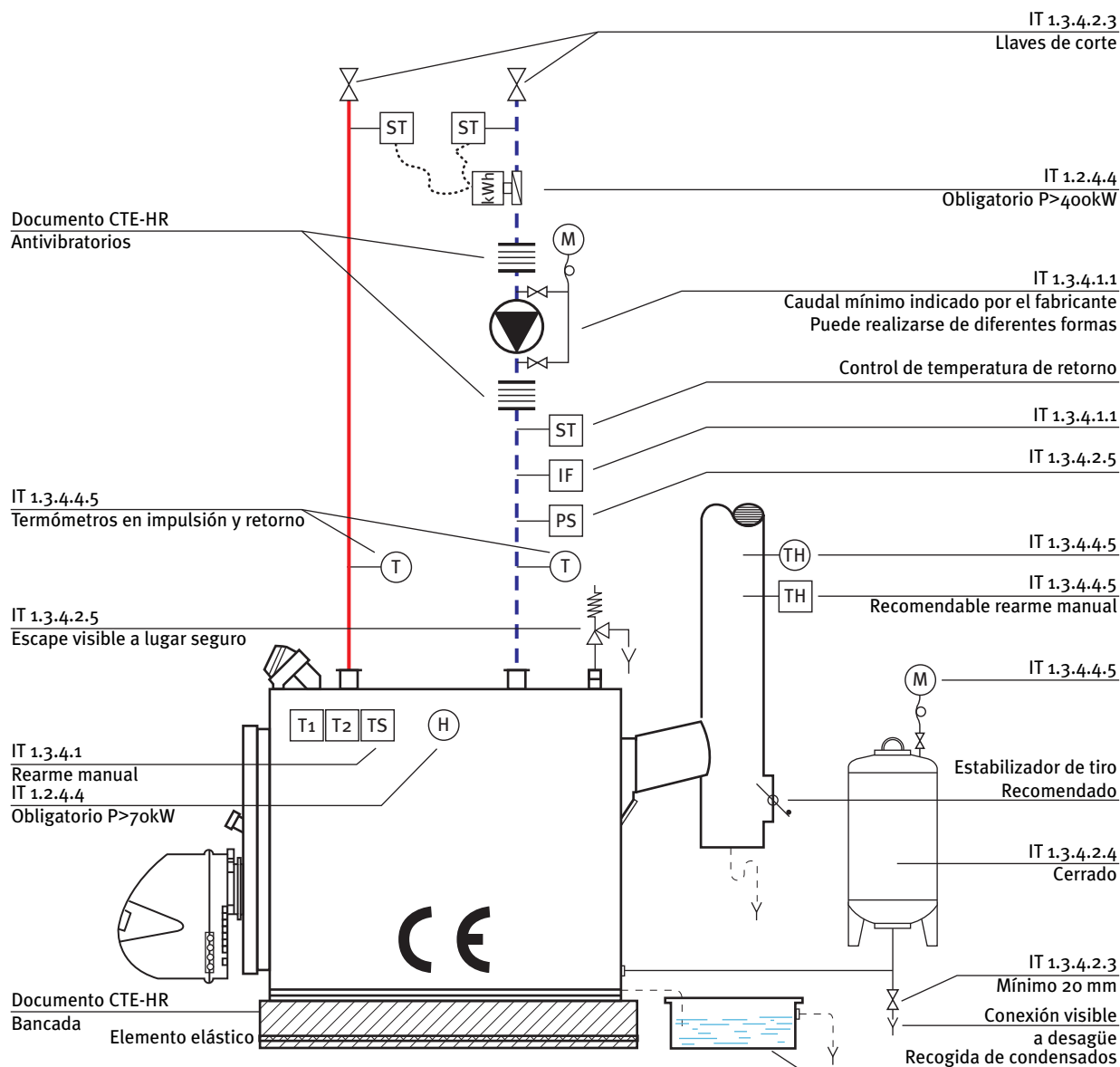


Figura INSTCLD-07: Requisitos para instalación de calderas centrales

6.14 DATOS MÍNIMOS NECESARIOS QUE SE SOLICITAN AL FABRICANTE

Para poder diseñar de manera adecuada las centrales de producción de calor es preciso solicitar al fabricante de las calderas los siguientes datos, como mínimo:

- Tipo de caldera (estándar, baja temperatura o condensación).
- Potencias del conjunto caldera/quemador (mínima, máxima y nominal).
- Presiones de trabajo (mínima y máxima).
- Caudales de circulación (mínimo y máximo).
- Pérdidas de carga (circuitos de agua y humos).
- Temperaturas de trabajo (mínima y máxima).
- Diámetro de conexión de la válvula de seguridad.
- Diámetro de conexión del circuito de humos.
- Diámetros de conexión de impulsión y retorno.
- Diámetro de conexión del vaciado.
- Diámetro de conexión de la recogida de condensados.
- Rendimientos a carga total y al 30%.

7

Temperaturas de funcionamiento de circuitos térmicos

En este apartado se analizan las temperaturas de funcionamiento de los diferentes circuitos térmicos de los edificios, las cuales son determinantes para la selección del tipo de calderas a instalar, así como para el establecimiento de los circuitos hidráulicos más eficientes.

En general, la decisión de las temperaturas de diseño son responsabilidad del proyectista, con las limitaciones que cada servicio impone, teniendo en cuenta que como el calor se transmite de mayor a menor temperatura, siempre será necesario que la temperatura de producción sea superior a la necesaria para cada servicio.

7.1 CALEFACCIÓN

La temperatura de confort en los locales debe estar entre 21 y 23 °C, por lo que son suficientes temperaturas del orden de los 40 °C para conseguir alcanzarlas, como por ejemplo en sistemas por suelo radiante.

Por motivos de seguridad el RITE limita a 80 °C la temperatura máxima de las superficies emisoras accesibles; tradicionalmente por comodidad se ha tomado esta temperatura como temperatura de consigna para las calderas, de manera que no sea necesario disponer elementos de regulación intermedios, ya que si la temperatura de producción coincide con la máxima permitida ésta nunca se verá superada.

Los radiadores se ensayan con un salto térmico de 50 °C entre la temperatura media del radiador y la temperatura ambiente (norma UNE EN 442). Por este motivo, para seleccionar los radiadores directamente de catálogo se ha tomado una temperatura media de funcionamiento de

los mismos de 70 °C, de manera que para una temperatura ambiente de 20 °C se tiene el salto térmico de 50 °C.

Con estas consideraciones las condiciones de diseño habituales de las instalaciones de calefacción por radiadores son:

- Impulsión: 80 °C.
- Retorno: 60 °C.

Es evidente que pueden adoptarse otras condiciones, siendo más favorables para calderas de condensación diseños con temperaturas inferiores; sin embargo no debe olvidarse que las condiciones de diseño se corresponden con las temperaturas exteriores más bajas y que con las regulaciones en función de las condiciones exteriores, las temperaturas de funcionamiento de los circuitos de calefacción, durante la mayor parte del tiempo serán más bajas.

Como ejemplo, en el Gráfico RAD-01 se muestran las condiciones de funcionamiento en función de las condiciones exteriores para una instalación con radiadores, cuyas condiciones de diseño hayan sido:

- Temperatura exterior: -4 °C.
- Temperatura de impulsión: 80 °C.
- Temperatura de retorno: 60 °C.
- Exponente de la curva de los radiadores: $n = 1,30$.
- Temperatura interior de los locales: 22 °C.

Curva de calefacción

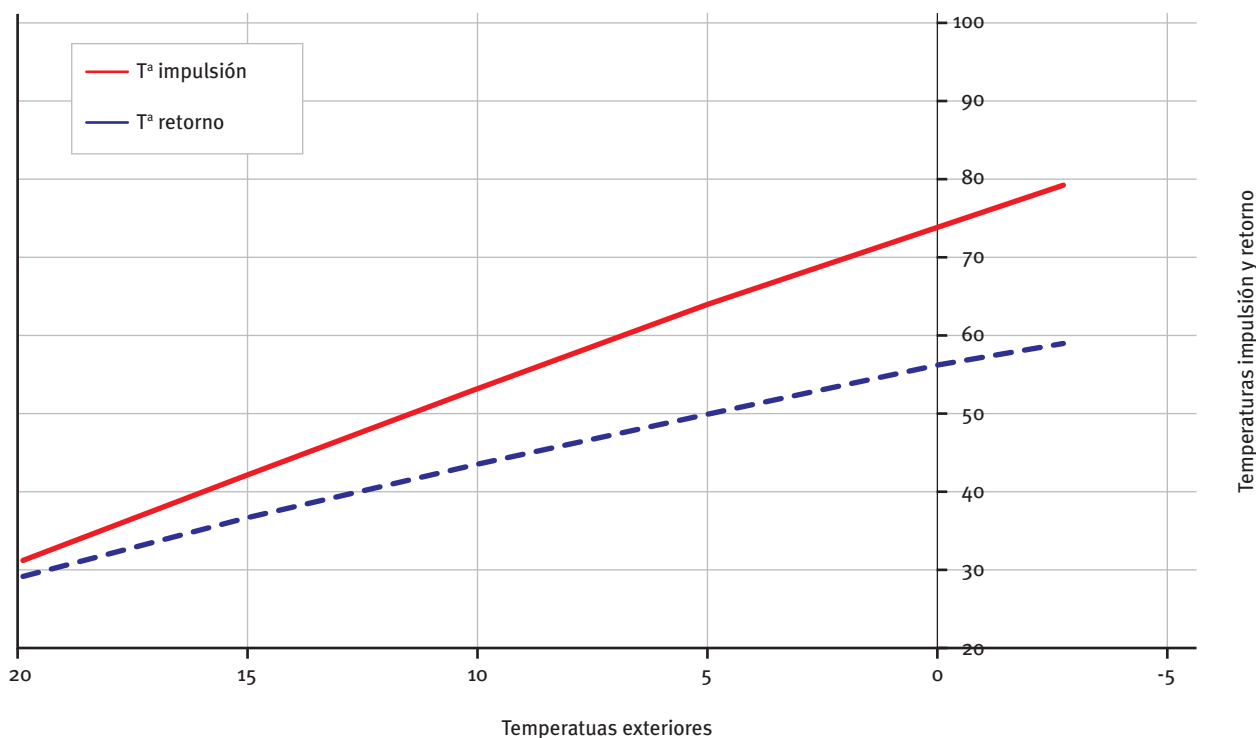


Gráfico RAD-01: Temperaturas de funcionamiento de una instalación con regulación en función de las condiciones exteriores

En el gráfico se puede observar como la temperatura de retorno, cuando la temperatura exterior sea de 0 °C es de 56 °C; siendo de 50 °C cuando la exterior sea de 5 °C.

Lo que implica que con regulaciones en condiciones exteriores, las temperaturas de funcionamiento de los sistemas de calefacción serán habitualmente bajas, aunque el diseño se haya hecho para impulsiones a 80 °C.

7.2 AGUA CALIENTE SANITARIA

Para prevención de la legionelosis, en cumplimiento del Real Decreto 865/2003, las instalaciones centrales de ACS se diseñan con temperaturas de acumulación permanente de, al menos, 60 °C y de manera que periódicamente se puedan alcanzar los 70 °C. Este requisito que para viviendas no es estrictamente exigible, por evidentes motivos de seguridad, suele ser aceptado sin reservas en todo tipo de instalación central.

Con estos condicionantes las instalaciones de ACS requieren primarios con temperaturas del orden de 80 °C.

7.3 CLIMATIZACIÓN

Las instalaciones de climatización habitualmente se diseñan para refrigeración, lo que requiere elementos emisores de mayor tamaño que funcionan con menores saltos térmicos; por ello en las mismas se pueden tener temperaturas de primario del orden de los 45 °C, lo que favorece la integración de calderas de condensación.

Estas temperaturas son válidas para suelos radiantes, ventiloconvectores, climatizadores, etc.

7.4 PISCINAS

Las piscinas son aplicaciones de bajo nivel térmico, inferior a 30 °C, por lo que pueden funcionar con primarios del orden de 40 °C.

8

Central de producción de calor

8.1 OBJETIVOS DE LA CENTRAL TÉRMICA

En primer lugar se definen los criterios con los que deben diseñarse las centrales de producción de calor de las instalaciones de calefacción y/o ACS, para cumplir los tres objetivos fundamentales del RITE:

- Proporcionar el confort adecuado.
- Cumplir los requisitos de seguridad.
- Obtener la mayor eficiencia posible.

8.1.1 Confort

Para poder proporcionar las condiciones de confort requeridas, la suma de las potencias de los generadores debe ser superior a las demandas máximas simultáneas del edificio más las pérdidas de calor de las redes de distribución.

8.1.2 Seguridad

El llenado de las instalaciones, que será manual (IT 1.3.4.2.2), debe tener llave de corte, filtro de malla metálica, un contador y una válvula antirretorno con elemento de comprobación.

Para evitar reflujos de la instalación a una red de agua potable, posteriormente a los elementos de llenado comentados, dispondrá de un desconector que, en caso de caída de presión de la red pública, cree una discontinuidad entre el circuito y la misma red pública.

En la Tabla CNTRM-01 se indican las secciones de llenado mínimas en función de la potencia de las instalaciones, las mismas corresponden a los llenados

generales, además de los cuales deben existir llenados para cada circuito, de manera que se puedan reparar y reponer el servicio a los mismos sin afectar al resto de las instalaciones; estos llenados se realizarán con una sección mínima DN 15.

Vaciados: todas las redes deben poderse vaciar total y parcialmente (IT 1.3.4.2.3). La conexión al desagüe se hará de tal forma que el paso de agua resulte visible; la sección mínima del vaciado general se muestra en la Tabla CNTRM-01, los vaciados parciales serán como mínimo DN 20.

TABLA CNTRM-01: TUBERÍAS DE LLENADO Y VACIADO PARA INSTALACIONES CENTRALES DE CALOR

Potencia (kW)	Diámetro mínimo (mm) instalaciones de calefacción	
	Llenado	Vaciado
$P \leq 50$	15	20
$50 < P \leq 150$	20	25
$150 < P \leq 500$	25	32
$500 < P$	32	40

Tablas 3.4.2.2 y 3.4.2.3 (RITE 07)

Cada circuito hidráulico se protegerá mediante un filtro con una luz de 1 mm como máximo; las válvulas automáticas de diámetro nominal mayor que DN 15, contadores y aparatos similares se protegerán con filtros de 0,25 mm de luz, como máximo (IT 1.3.4.2.8).

Se dispondrán, como mínimo, los siguientes elementos de medición (IT 1.3.4.4.5):

- Colectores de impulsión y retorno: 1 termómetro.
- Vasos de expansión cerrados: 1 manómetro.

- Aparatos de transferencia térmica: 1 termómetro a la entrada y otro a la salida.
- Chimeneas: 1 pirómetro (o pirostato con indicador).
- Circuitos secundarios: 1 termómetro en la impulsión y otro en el retorno.
- Bombas: 1 manómetro con lectura diferencial, equipado con dispositivo de amortiguación.
- Válvulas automáticas: 2 tomas para la medida de pérdida de presión.

8.1.3 Eficiencia energética

La eficiencia de la central de producción depende básicamente de los siguientes factores:

- **Eficiencia de los generadores;** para ello se seleccionarán las calderas más eficientes posible; es decir, las que obtengan mejores rendimientos tanto a carga total como a carga parcial, teniendo en cuenta las temperaturas de funcionamiento de los diversos circuitos.
- **Fraccionamiento de potencia;** la producción de calor debe adecuarse en todo momento a las demandas instantáneas del edificio, de manera que se eviten arrancadas y paradas innecesarias de los generadores, para ello se deben seleccionar varios generadores y con quemadores de varias marchas, preferiblemente modulantes.
- **Distribuciones con circuitos diferentes** según tipos de uso, zonas y horarios de funcionamiento.
- **Regulación y control** de la instalación programado para el óptimo aprovechamiento de la misma.

8.1.3.1 Generadores eficientes

Para seleccionar los generadores deben tenerse en cuenta las temperaturas de diseño de cada circuito, siendo adecuado utilizar calderas de condensación cuando se puedan tener muchas horas de funcionamiento a baja temperatura.

Independientemente del tipo de caldera, las mismas deben seleccionarse con la garantía de que a carga parcial van a mantener un buen rendimiento.

8.1.3.2 Fraccionamiento de potencia

El número de calderas y su regulación debe seleccionarse de modo que se obtenga un funcionamiento continuo de las mismas. Para ello los generadores se conectarán hidráulicamente en paralelo y estarán independizados.

El número mínimo de generadores se fija en la IT 1.2.4.1.2.2.

TABLA CNTRM-02: NÚMERO MÍNIMO DE GENERADORES DE CALOR EN FUNCIÓN DE LA POTENCIA DE LA INSTALACIÓN

Fraccionamiento potencia	
Potencia nominal	Número mínimo generadores
PN ≤ 400	Un generador
400 < PN	Dos generadores
Si la instalación da servicio de calefacción y ACS, la potencia demandada por el sistema de ACS será igual o mayor que la potencia del primer escalón del generador.	

El escalonamiento de potencia que puede obtenerse en la instalación comprende desde la mínima potencia del generador más pequeño, hasta la suma conjunta de todos los generadores; por ello si se tienen quemadores modulantes el rango de regulación es continuo.

Si se opta por generadores que a carga parcial incrementan su rendimiento (condensación) el RITE permite reducir el número de generadores, ya que puede obtenerse un mejor rendimiento estacional.

Para evitar consumos innecesarios, cuando pare un generador deben parar también los equipos accesorios cuyo funcionamiento estén directamente relacionados con el del generador, como por ejemplo las bombas de circulación por caldera.

8.1.3.3 Distribución de circuitos

El número de circuitos debe seleccionarse por los siguientes conceptos:

- **Temperaturas de funcionamiento:** no deben mezclarse circuitos con temperaturas diferentes, ya que ello obligaría a efectuar las distribuciones a las temperaturas más altas y reducirlas en los puntos de consumo. Ello implica separar los circuitos de calefacción de los de ACS, piscinas, etc.

- Horarios de funcionamiento: los circuitos deben agruparse por zonas con el mismo horario de uso, de manera que se eviten consumos eléctricos y pérdidas de calor en distribuciones que no estén utilizándose. Esto obliga a separar usos como por ejemplo viviendas de oficinas, o estas últimas de salones de actos, etc.
- Orientaciones, ya que orientaciones opuestas implican temperaturas de funcionamiento diferentes en cada momento.

8.1.3.4 Regulación y control

El sistema de regulación debe conseguir que cada circuito trabaje siempre a la menor temperatura posible, para aprovechar al máximo los elementos de producción; asimismo debe lograr que en cada momento estén en marchas los equipos más eficientes.

En este sentido, en la IT 1.2.4.3.1 punto 8, se indica que si los generadores, a carga parcial, disminuyen su rendimiento la regulación será en secuencia, manteniendo en marcha al número mínimo de generadores; sin embargo, si a carga parcial aumentan su rendimiento se actuará de manera que se mantenga en marcha un mayor número de equipos, trabajando a carga parcial.

El caudal del fluido portador por calderas se podrá variar para adaptarse a la carga térmica instantánea entre los límites máximo y mínimo establecidos por el fabricante (IT 1.2.4.1.1).

8.2 CIRCUITOS HIDRÁULICOS HABITUALES DE LA CENTRAL TÉRMICA

A continuación se analizan diferentes soluciones de la central térmica que cumplen los requisitos necesarios para lograr los objetivos anteriormente analizados.

Como muestra de los circuitos secundarios se toman dos, que pueden corresponder a calefacción, ACS, o cualquier aplicación térmica del edificio, por lo que el número puede ser muy superior; los circuitos

secundarios dispondrán de elementos de regulación independientes, ya que la central térmica deberá trabajar a la temperatura del circuito que la solicite más alta en cada momento, los restantes circuitos la reducirán con sus propias regulaciones.

Seguidamente se estudia exclusivamente el circuito de producción de calor que es el objeto de la presente guía; los circuitos secundarios se tratan en otras guías.

En todos los esquemas se incluyen los elementos básicos que se han comentado en el apartado de instalación de calderas, para cada una de ellas:

- Llaves de corte.
- Válvulas de seguridad.
- Expansión cerrada exclusiva para la caldera.
- Elementos de medición y control (termómetros, termostatos, etc.).
- Conductos de humos con estabilizador de tiro, recogida de condensados, etc.
- Vaciado.
- Etc.

Estos componentes se consideran suficientemente tratados en los apartados anteriores, por lo que el análisis se centrará en cómo se resuelve el funcionamiento conjunto de la central de producción de calor.

En los ejemplos se muestran dos calderas, si bien los criterios son iguales cualquiera que sea su número.

8.2.1 Circuito con circulación nominal por calderas

La instalación se muestra en la Figura CNTRM-01; la producción de calor se compone de un colector de retorno a calderas y dos colectores principales (impulsión y retorno) a los que se conectan las calderas y todos los circuitos secundarios.

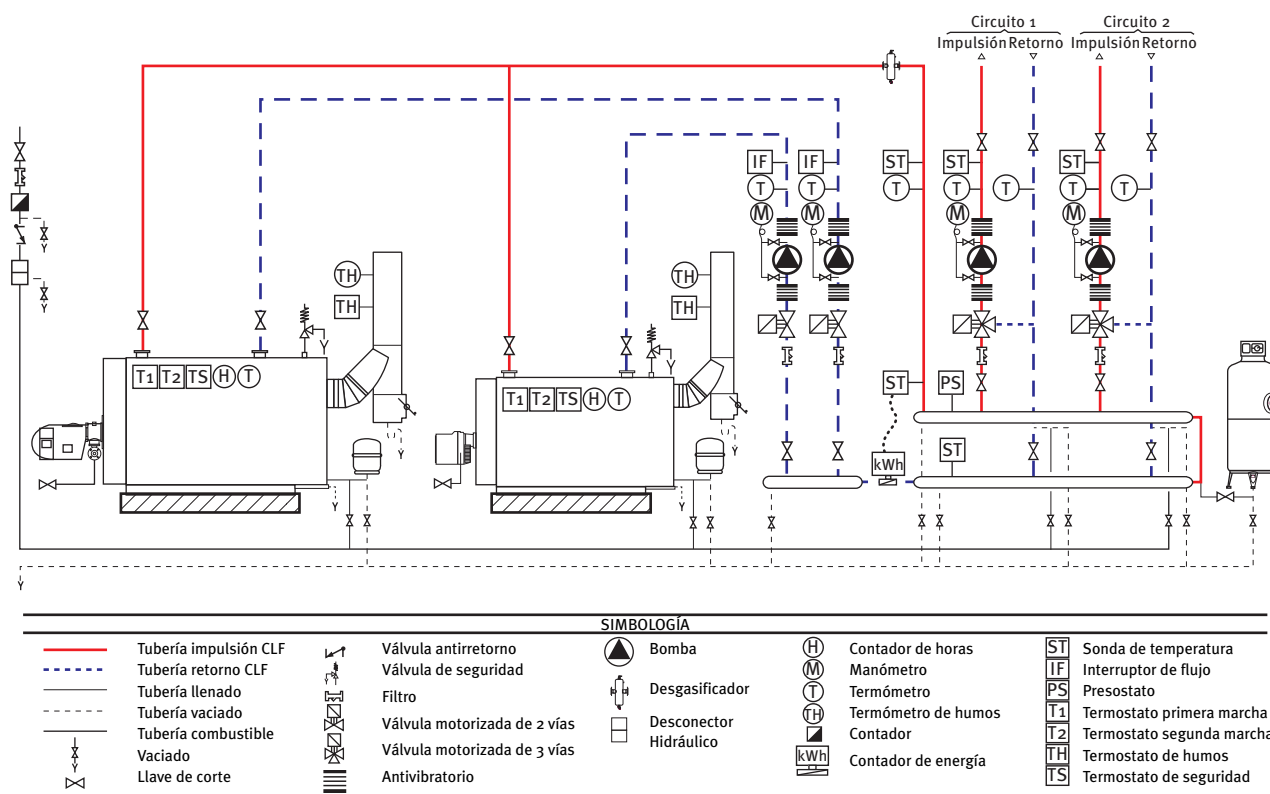


Figura CNTRM-01: Circuito con circulación nominal por calderas y válvulas de dos vías

La instalación de cada caldera se resuelve con los siguientes elementos:

- Una bomba para circulación nominal.
- Un interruptor de flujo.
- Una válvula motorizada de dos vías.

El sistema de regulación debe actuar de manera que antes de la entrada en funcionamiento de la caldera se abra la correspondiente válvula y se ponga en marcha su bomba, el interruptor de flujo permitirá el arranque de la caldera cuando se haya establecido la circulación de agua por la misma.

La apertura lenta de la válvula motorizada evita golpes de ariete; estas válvulas evitan la circulación parásita del agua por la caldera, cuando la misma permanece parada; en instalaciones de potencia pequeña las válvulas motorizadas pueden sustituirse por válvulas antirretorno.

Para lograr esta circulación independientemente de la posición que ocupen en cada momento las válvulas de regulación de los circuitos secundarios, es preciso conectar hidráulicamente los colectores de impulsión

y retorno, a través de una tubería de la misma sección que la común de calderas.

Si las calderas no son de condensación, la sonda del colector de retorno a calderas no permitirá la apertura de las válvulas de circuitos hasta que no se haya alcanzado la temperatura que evite este riesgo.

Si las calderas son de condensación o baja temperatura, la misión de la sonda del colector de retorno será dar prioridad al circuito principal, habitualmente el de ACS, no permitiendo la apertura de la válvula de regulación del circuito secundario, hasta que no se haya alcanzado la temperatura de retorno que permita cubrir adecuadamente todos los servicios.

La sonda de la impulsión común de calderas se utiliza para el funcionamiento en secuencia de las mismas; con las temperaturas registradas en ella el sistema de regulación debe actuar de manera que en cada momento entren en funcionamiento el número de escalones que proporcionen mayor rendimiento; es decir, el número mínimo de calderas cuando las mismas disminuyan su rendimiento a carga parcial, o varias calderas a carga parcial cuando su rendimiento aumente en esa circunstancia.

Asimismo, el sistema de regulación debe hacer funcionar la instalación a la temperatura más baja posible, compatible con el servicio y con el tipo de calderas; para ello recibirá las señales de todas las sondas de los circuitos secundarios teniendo como consigna de producción la más alta en cada momento. El circuito secundario correspondiente trabajará con la válvula de regulación totalmente abierta y las restantes se posicionarán de manera que en cada circuito se tenga la temperatura de distribución adecuada.

En instalaciones de potencia superior a 400 kW es preciso medir las aportaciones de la central térmica, el punto más adecuado para colocar el contador es en el retorno común a calderas con sondas en impulsión y retorno.

8.2.2 Circulación nominal con compensador hidráulico

En los casos en que los caudales del circuito de calderas y los circuitos secundarios resulten muy diferentes, en función de la posición de las válvulas de regulación, o si las calderas son de muy poco volumen de agua y conviene garantizar con mayor seguridad una inercia térmica, se suele emplear un compensador hidráulico entre el circuito de calderas y los colectores de circuitos secundarios (Figura CNTRM-02).

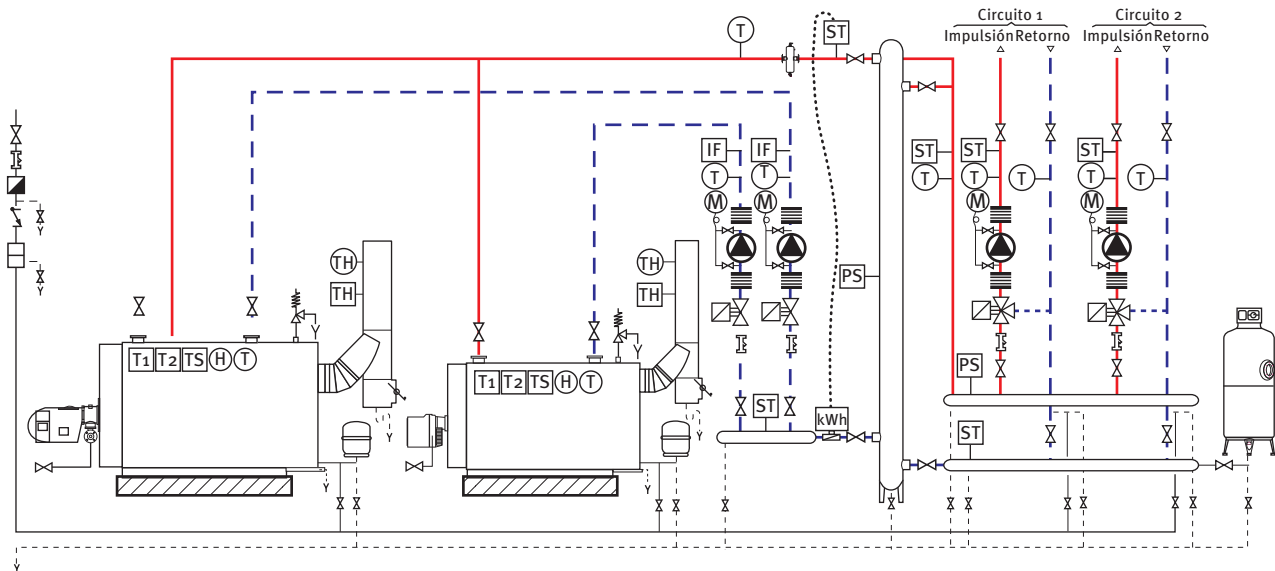


Figura CNTRM-02: Circuito con circulación nominal por calderas y compensador hidráulico

Las condiciones de funcionamiento son idénticas a las descritas en la solución anterior, si bien en este caso no es preciso conectar hidráulicamente los colectores de impulsión y retorno de los circuitos secundarios, ya que la misma se establece a través del compensador.

8.2.3 Circulación nominal por calderas y válvulas de 3 vías

La instalación de la figura CNTRM-03 resuelve los requisitos de cada caldera con los siguientes elementos:

- Una bomba para circulación nominal.
- Un interruptor de flujo.
- Una válvula motorizada de tres vías.
- Una sonda en retorno.

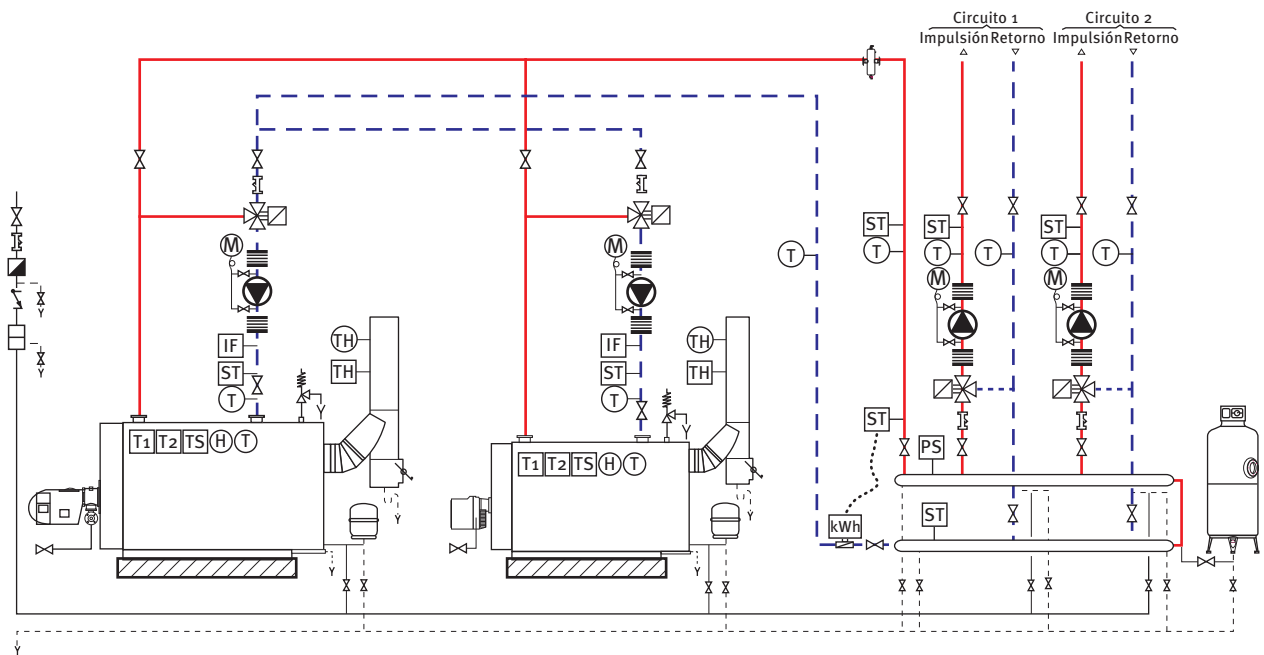


Figura CNTRM-03: Circuito con circulación nominal por calderas y válvulas de tres vías

En este caso la bomba de circulación nominal se conecta directamente en el retorno de la caldera; al no existir el colector de retorno a calderas, las mismas se conectan con retorno invertido, de modo que estén equilibradas sin necesidad de válvulas de regulación.

Esta solución se emplea con calderas estándar, la sonda en el retorno no permite que la válvula de tres vías de la caldera abra, hasta que se tenga una temperatura que impida el riesgo de condensación.

La válvula de tres vías también cumple la misión de evitar la circulación parásita del agua cuando la caldera esté parada.

En este caso es necesario conectar hidráulicamente los colectores de impulsión y retorno de los circuitos secundarios, para permitir la circulación por calderas, cuando las válvulas de los circuitos secundarios estén cerradas.

8.2.4 Circulación mínima por calderas

En el esquema de la Figura CNTRM-04 se tiene una producción de calor con circulación mínima por calderas mediante bombas independientes situadas en bypass entre la impulsión y el retorno a cada caldera; en esta posición, habitualmente, las bombas han sido denominadas de manera incorrecta como bombas anticóndensación. El error proviene de no considerar que quienes demandan son los circuitos secundarios, de manera que si en la arrancada, o en los momentos de demanda máxima, el edificio solicita una potencia similar a la que entregan las calderas, la temperatura de impulsión aumenta lentamente, de modo que las bombas en bypass no logran aumentar la temperatura de retorno de manera suficiente; el único medio eficaz de evitar este problema es actuar sobre los circuitos, de modo que los mismos no comiencen a demandar calor mientras en los circuitos primarios (calderas y colectores) no se hayan alcanzado las temperaturas suficientes.

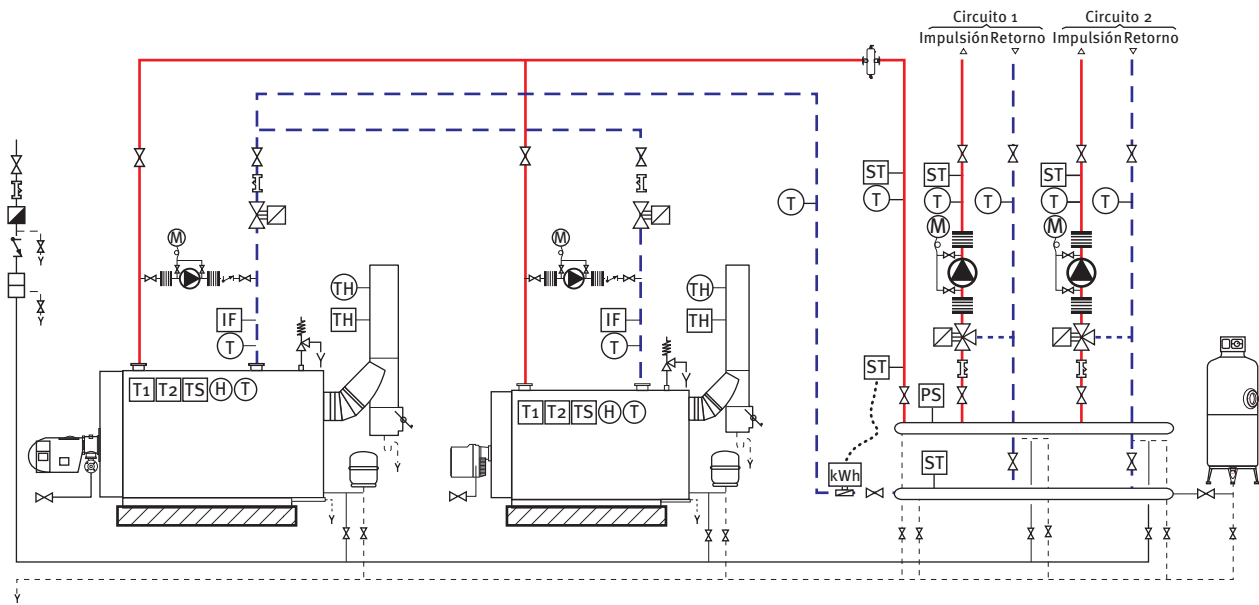


Figura CNTRM-04: Conexión de calderas con circulación mínima

Por ello se coloca una sonda en el retorno que no permita la apertura de las válvulas de secundario, hasta que no se haya superado la temperatura que evita este riesgo; esta sonda permite dar prioridad al circuito principal.

La bomba en bypass requiere una válvula antirretorno, para evitar la circulación inversa inducida por las bombas de los circuitos secundarios.

Como en los casos anteriores, si se utilizan calderas de condensación la sonda de retorno se emplea exclusivamente para dar prioridad al circuito principal.

Para evitar la circulación parásita por la caldera que esté parada, la instalación se debe complementar con

válvulas motorizadas de dos vías en los retornos a las mismas.

8.2.5 Calderas sin circulación mínima

Por último, en la Figura CNTRM-05 se incluye un esquema aplicable a calderas que no requieran circulación mínima (dato que debe proporcionar el fabricante de las mismas). En este caso la circulación por calderas estará determinada por la posición que adopten en cada momento las válvulas de regulación de los circuitos secundarios.

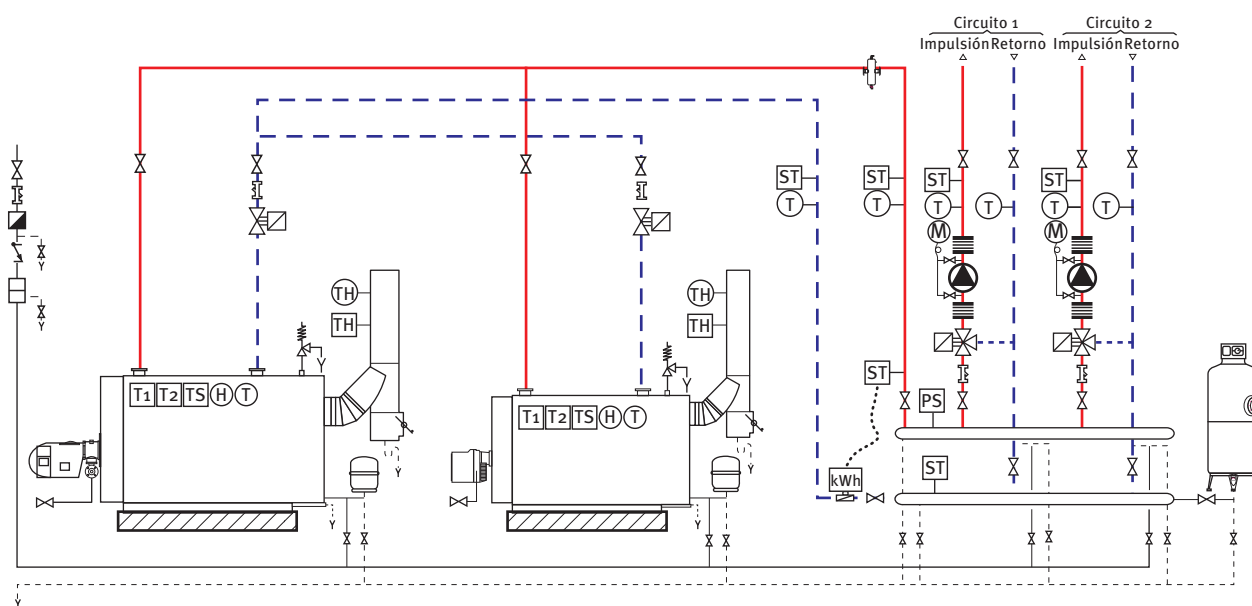


Figura CNTRM-05: Circuito sin circulación mínima por calderas y válvulas de dos vías

Para poder aplicar este esquema se necesitan calderas que tampoco requieran temperaturas mínimas de retorno (calderas de condensación), ya que, en caso contrario, al tener que actuar sobre las válvulas de circuitos, aunque las calderas no precisen caudal mínimo las sondas se quedarían sin circulación de agua, no detectando las temperaturas que se producen e impidiendo la actuación de los elementos de control; si bien este inconveniente puede solventarse diseñando la regulación de manera que las válvulas de los circuitos secundarios no cierren totalmente.

La instalación se debe complementar con válvulas motorizadas de dos vías, para evitar las circulaciones parásitas del agua en las paradas de calderas.

8.3 OTROS CIRCUITOS HIDRÁULICOS

Los esquemas mostrados en el apartado anterior son ejemplos de instalaciones que se adecuan a las exigencias del RITE, si bien hay multitud de posibles soluciones que también cumplen el mismo; el proyectista debe decidir en cada caso cuál es el más conveniente para cada edificio y conforme a los equipos seleccionados.

A continuación se analizan otros esquemas no habituales en los que se desarrollan algunas formas de integración de calderas de condensación.

8.3.1 Caldera única de condensación con calefacción y ACS

En la Figura CNTRM-06 se muestra el esquema de una instalación con una caldera de condensación y servicios de calefacción y ACS.

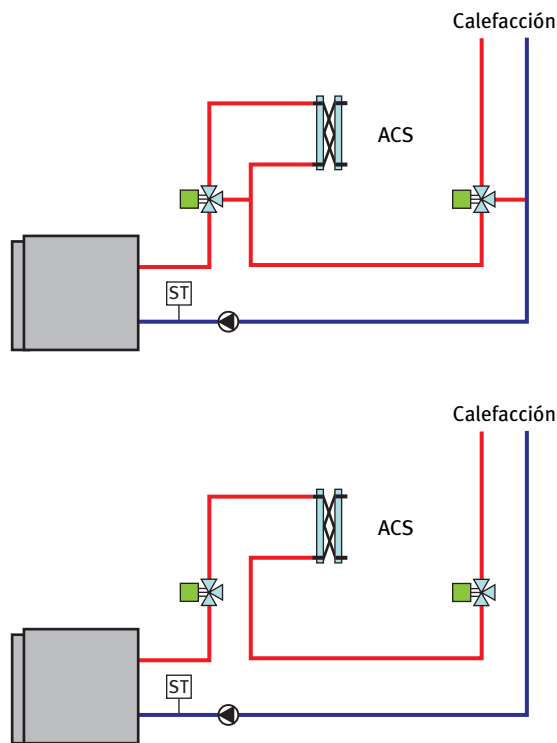


Figura CNTRM-06: Caldera de condensación con circuitos de calefacción y ACS

El circuito primario del servicio de ACS se conecta en serie con el circuito de calefacción. La regulación de la calefacción en función de las condiciones exteriores se realiza sobre la temperatura de retorno a caldera. La temperatura de impulsión se modifica directamente según necesidades; de este modo el retorno a caldera siempre está a la menor temperatura posible. La caldera funciona con circulación nominal.

8.3.2 Calderas estándar y de condensación

En el caso de utilizar calderas estándar y calderas de condensación, en muchos momentos puede interesar que las primeras atiendan directamente a los servicios de alta temperatura (por ejemplo, ACS) mientras que las de condensación cubran los de baja temperatura (por ejemplo, calefacción); la instalación puede resolverse independizando ambos circuitos (Figura CNTRM-07).

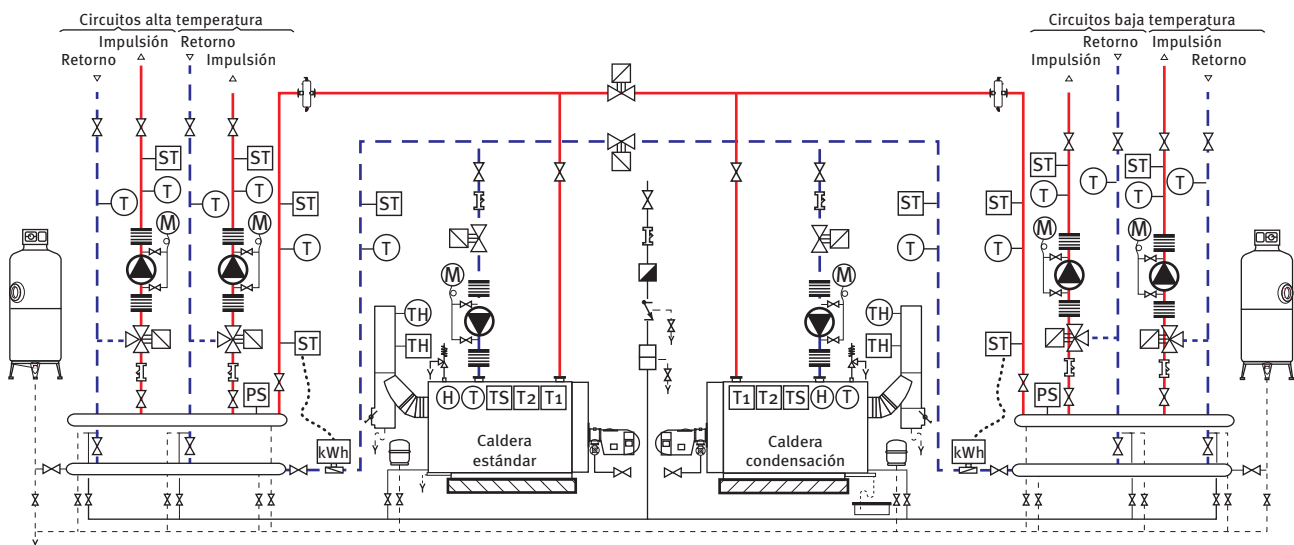


Figura CNTRM-07: Central con calderas estándar y de condensación

Cuando las condiciones de funcionamiento sean próximas a las de diseño; es decir, para demandas elevadas, todas las calderas trabajan en paralelo atendiendo de manera conjunta a todos los servicios, para ello las válvulas motorizadas del tramo común abren.

En épocas intermedias con demandas inferiores, ambas válvulas cierran y cada caldera atiende al servicio que mejor se adecua a sus características.

En épocas de baja demanda se utilizan las calderas de condensación, por ser las que proporcionan mejor rendimiento.

Además de las válvulas motorizadas del tramo común, se requieren las válvulas de caldera, de modo que las mismas se desconecten hidráulicamente cuando estén paradas.

La circulación nominal se proporciona con una bomba en el retorno de cada caldera.

8.4 REQUISITOS BÁSICOS DEL SISTEMA DE CONTROL

Como conclusión se indican los requisitos básicos con los que se deben seleccionar los sistemas de control de la central térmica.

Debe cumplir, como mínimo, los siguientes objetivos:

MANTENER LAS TEMPERATURAS DE CONSIGNA

Este es el objetivo de todas las centrales de producción de calor. En cada momento deben conseguirse las temperaturas del agua adecuadas para poder cubrir todos los servicios.

Las temperaturas de consigna pueden ser:

- Fijas: tienen el mismo valor a lo largo del tiempo.
- Variables: el valor de la consigna puede variarse en función de las necesidades de cada momento.

MANTENER EN FUNCIONAMIENTO EL NÚMERO MÍNIMO DE ESCALONES DE POTENCIA NECESARIOS PARA CUBRIR LAS NECESIDADES INSTANTÁNEAS

La regulación en secuencia debe evitar que haya en funcionamiento más equipos que los estrictamente necesarios.

EVITAR PÉRDIDAS INNECESARIAS EN LOS EQUIPOS QUE ESTÉN PARADOS

En las calderas paradas se pueden producir pérdidas por:

- Convección-Radiación: éstas pérdidas son debidas a la circulación de agua caliente por el interior de las calderas; esto hace que la masa de la caldera aumente su temperatura, actuando como radiador. Por tanto, los sistemas de regulación en secuencia deben aislar hidráulicamente a las calderas que no estén en funcionamiento.
- Tiro inducido: cuando la caldera aumenta su temperatura se induce una entrada de aire por el quemador que supone pérdidas de calor al provocar el enfriamiento interior de la caldera.

UTILIZACIÓN EN CADA MOMENTO DE LOS EQUIPOS MÁS EFICIENTES

Un buen sistema de regulación en secuencia no debe conformarse con lograr que en cada momento estén en funcionamiento el número mínimo de calderas, sino que debe conseguir, además, que en cada momento estén en funcionamiento las más eficientes; es decir, las de potencia más ajustada a las necesidades instantáneas.

Puede darse el caso que esté en funcionamiento una única caldera pero de potencia muy superior a la necesaria en ese instante, esto implicaría que el quemador tendría un número elevado de arrancadas y paradas. En ese instante el sistema de regulación debería cambiar de caldera de funcionamiento.

También puede darse el caso de tener equipos con rendimientos muy diferentes; se debe dar prioridad de funcionamiento a los más eficientes, quedando los de menor rendimiento de apoyo.



Anexo 1: Normativa

Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).

Real Decreto 1.027/2007 de 20 de julio.
BOE 29 de agosto de 2007.

Corrección de errores.

BOE 28 de febrero de 2008.

Disposiciones de aplicación de la Directiva del Consejo de las Comunidades Europeas 92/42/CE, relativa a los requisitos de rendimientos para las calderas nuevas de agua caliente alimentadas por combustibles líquidos o gaseosos, modificada por la Directiva 93/68/CE del Consejo.

Real Decreto 275/1995 de 24 de febrero.
BOE de 27 de marzo de 1995.

Disposiciones de aplicación de la Directiva del Consejo de las Comunidades Europeas 90/396/CEE sobre aparatos a gas.

Real Decreto 1.428/1992 de 27 de noviembre.
BOE de 5 de diciembre de 1992.

Modificaciones

Real Decreto 276/1995 de 24 de febrero.
BOE de 27 de marzo de 1995.

Establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos que utilizan energía.

Real Decreto 1.369/2007 de 19 de octubre.
BOE de 23 de octubre de 2007.

Código Técnico de la Edificación (CTE).

Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo.
BOE de 28 de marzo de 2006.

Protección contra el ruido y modificación Real Decreto 1371/2007 de 19 de octubre.

BOE de 23 de octubre de 2007.

Corrección de errores. BOE de 20 de diciembre de 2007.

Corrección de errores. BOE de 25 de enero de 2008.

Criterios Higiénico-Sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.

Real Decreto 865/2003 de 4 de julio.
BOE de 18 de julio de 2003.

UNE EN 442: Radiadores y convectores.

- Parte 1: Especificaciones y requisitos técnicos. 1996.
- Parte 2: Métodos de ensayo y de evaluación.
- Parte 3: Evaluación de conformidad. 1997.

UNE 100.030/2005: Guía para la prevención y control de la proliferación y diseminación de la legionela en instalaciones.

UNE 100.155/2004: Climatización: Diseño y cálculo de sistemas de expansión.



Anexo 2: Bibliografía

- Ministerio de Industria y Energía. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. *Reglamento de instalaciones de calefacción, climatización y ACS con el fin de racionalizar su consumo energético e instrucciones técnicas complementarias*. ITIC. Texto legal y explicaciones técnicas. 1995.
- CAMPSA. *Manual de Calefacción y ACS*. 4ª edición. 1989.
- IDAE. Jornadas de difusión del RITE. *Comentarios al RITE*. 1998.
- García Pérez, J. *Esquemas hidráulicos de calefacción, ACS y Energía Solar Térmica*. 2007.

Guía nº 1:
Guía técnica.
Mantenimiento de instalaciones térmicas

Guía nº 2:
Guía técnica.
Procedimientos para la determinación del rendimiento energético de plantas enfriadoras de agua y equipos autónomos de tratamiento de aire

Guía nº 3:
Guía técnica.
Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos.
Incluye CD-ROM con programa AISLAM

Guía nº 4:
Guía técnica.
Torres de refrigeración

Guía nº 5:
Guía técnica.
Procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas

Guía nº 6:
Guía técnica.
Contabilización de consumos

Guía nº 7:
Comentarios al Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. RITE - 2007

Guía nº 8:
Guía técnica.
Agua caliente sanitaria central

Guía nº 9:
Guía técnica.
Ahorro y recuperación de energía en instalaciones de climatización

Guía nº 10:
Guía técnica.
Selección de equipos de transporte de fluidos: bombas y ventiladores

Guía nº 11:
Guía técnica.
Diseño de centrales de calor eficientes

IDA Instituto para la
Diversificación y
Ahorro de la Energía

c/ Madera, 8 - 28004 Madrid
Tel.: 91 456 49 00. Fax: 91 523 04 14
comunicacion@idae.es
www.idae.es



P.V.P.: 20 € (IVA incluido)