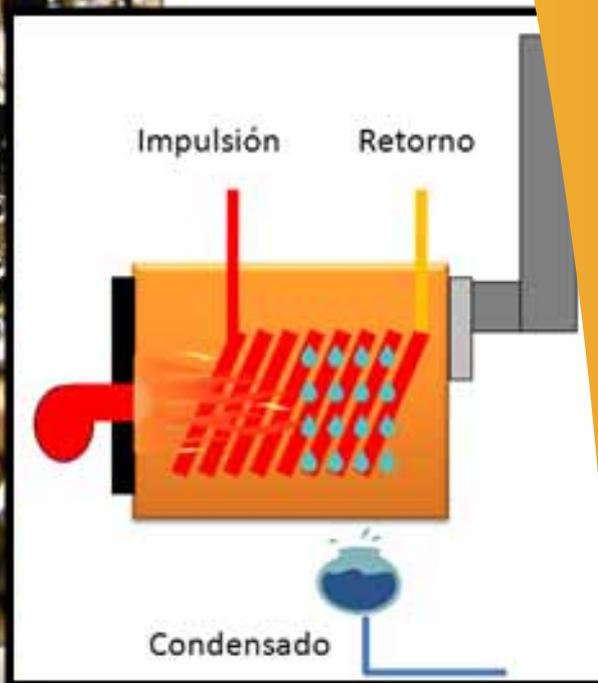




Madrid
Ahorra
con Energía



Guía Básica

CALDERAS DE CONDENSACIÓN



CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA
Comunidad de Madrid

www.madrid.org

Depósito Legal:

Impresión Gráfica:

Índice

1. Introducción	5
2. Calderas	5
3. Principios básicos de la condensación	9
4. Características, diseño y ejecución de los elementos de las calderas de condensación	12
4.1. Funcionamiento	12
4.2. Circuito hidráulico	13
4.2.1. Circuito de calefacción	13
4.2.2. Circuito de agua caliente sanitaria	16
4.3. Condensados	17
4.3.1. Evacuación	17
4.3.2. Tratamiento de la acidez	19
4.4. Humos	21
4.4.1. Productos de la combustión	21
4.4.2. Los productos de la combustión en las calderas de condensación	21
4.5. Seguridad	24
4.6. Montaje y mantenimiento	24
5. Rendimientos	25
5.1. Rendimiento útil nominal	25
5.2. Rendimiento estacional	26
5.3. Requisitos de rendimiento	27
6. Tipos de instalaciones	29
6.1. Sistemas de baja temperatura	29
6.2. Calefacción con radiadores	31
7. Conclusiones	32
Anexo 1. Otros conceptos	35
Anexo 2. Justificación de las calderas de condensación en Madrid	41
Anexo 3. Características de los combustibles	47
Anexo 4. Preguntas frecuentes	49

Presentación

El sector doméstico representa hoy un 23% del consumo total de energía final en la Comunidad de Madrid, y dos tercios de ese porcentaje corresponden a calefacción y agua caliente sanitaria. Se trata del segundo sector con mayor consumo en la actualidad, por lo que el ahorro de energía que puede alcanzarse con la utilización de equipos más eficientes puede impactar de forma notable sobre el volumen total consumido. Además, hoy por hoy, es sencillo mejorar las instalaciones y ahorrar energía al mismo tiempo con técnicas ampliamente probadas como la condensación aplicada a las calderas de calefacción.

Con estas calderas es posible alcanzar rendimientos estacionales de hasta el 109% frente al 80% de las calderas estándar o el 96% de las de baja temperatura. Ya que se trata de unas calderas más eficientes al aprovechar el calor latente al condensar el vapor de agua de los humos, con lo que se consigue, además, mejorar el aprovechamiento de la energía, esto es, reducir el consumo del combustible utilizado y la emisión de sustancias nocivas.

Su implantación y presencia a nivel europeo es ya importante en países como Alemania, Reino Unido u Holanda; sin embargo, en otros su presencia es residual como el caso de España donde el porcentaje de calderas de condensación sobre el volumen de ventas en el año 2007 sólo alcanzó el 1%.

En este contexto, la Comunidad de Madrid, que contempla dentro de sus líneas estratégicas la eficiencia y el ahorro energético, dentro de la campaña **Madrid Ahorra con Energía**, pretende fomentar la instalación de este tipo de calderas más eficientes y ecológicas.

Carlos López Jimeno
Director General de Industria
Energía y Minas
Consejería de Economía y Hacienda
Comunidad de Madrid

1. Introducción

La necesidad de reducir el consumo de energía y, consecuentemente, las emisiones de contaminantes, sin merma del confort de las personas, ha llevado a los fabricantes a la búsqueda de equipos cada vez más eficientes; en el caso de las calderas, la elevación más importante de este rendimiento se localiza en el aprovechamiento del calor de condensación del agua de los humos, que permite incrementos de hasta un 30% respecto a los máximos alcanzables con las calderas tradicionales.

Por este motivo, el uso de este tipo de calderas debe potenciarse en la medida de lo posible; para ello, deben conocerse ciertos aspectos que influyen en su correcta aplicación. Este documento trata el proceso físico de la condensación, como mejora de la eficiencia energética de los generadores de calor, aplicados fundamentalmente a los sistemas de calefacción en los edificios tanto terciarios como domésticos y las características singulares de este tipo de generadores.

Se pretende que el lector comprenda cómo las calderas de condensación aprovechan el calor que se desprende de la condensación del agua en forma de vapor contenido en los humos, para hacer un precalentamiento del agua de retorno de la caldera y, asimismo, describir de qué parámetros depende para tenerlos en cuenta, tanto en la fase de diseño como en la instalación y posterior mantenimiento.

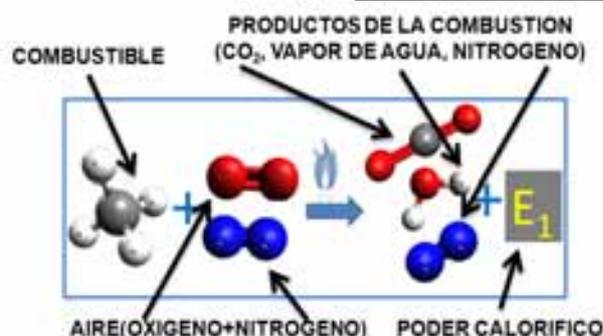
2. Calderas

La caldera es el equipo en el que el calor producido en la combustión se transfiere al agua de la instalación.

COMBUSTIÓN

La combustión es una reacción química de oxidación en la que el combustible (generalmente un hidrocarburo), se combina con oxígeno, llamado comburente, desprendiendo energía térmica (poder calorífico) y los productos de combustión (mayoritariamente dióxido de carbono y agua en forma gaseosa). En la práctica, el oxígeno se toma del aire (21% O_2 y 79% N_2).

Cada combustible tiene una composición molecular propia y su reacción con el oxígeno libera una energía térmica, y unas cantidades de dióxido de carbono ($CO_2(g)$) y vapor de agua ($H_2O(g)$) determinadas.



PODER CALORÍFICO

Se denomina **Poder Calorífico** a la cantidad de calor liberada en la combustión completa.

El **Poder Calorífico Inferior (Hi)** es la energía liberada en la combustión completa cuando el agua de los humos está en forma gaseosa, situación habitual en las calderas.

El **Poder Calorífico Superior (Hs)** es la energía liberada en la combustión completa cuando se ha condensado el vapor de agua de los humos, objetivo a lograr en la técnica de la condensación.

H_2O (g) producto de la combustión (vapor de agua) $\Rightarrow H_2O$ (l) \cdot 2.384 (kJ/kg) agua (g)

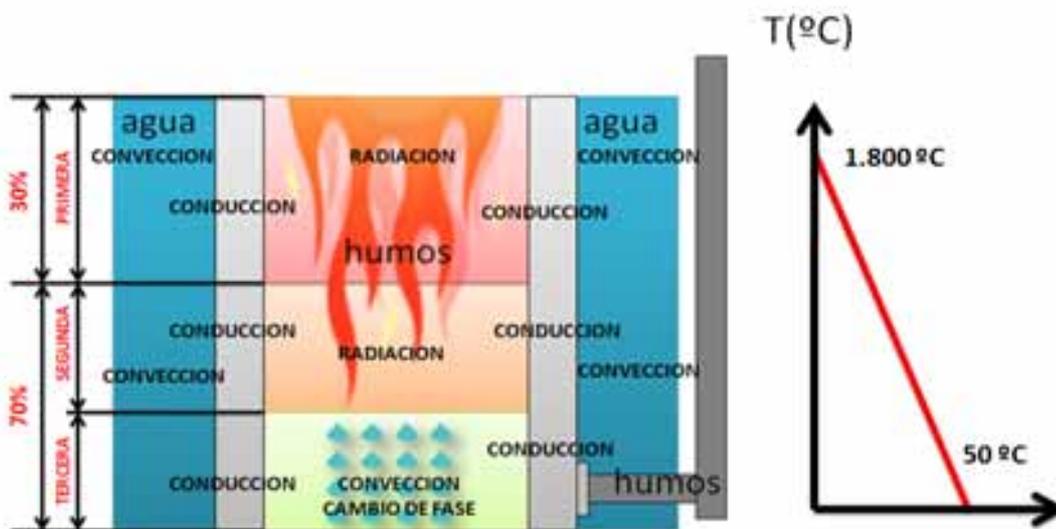
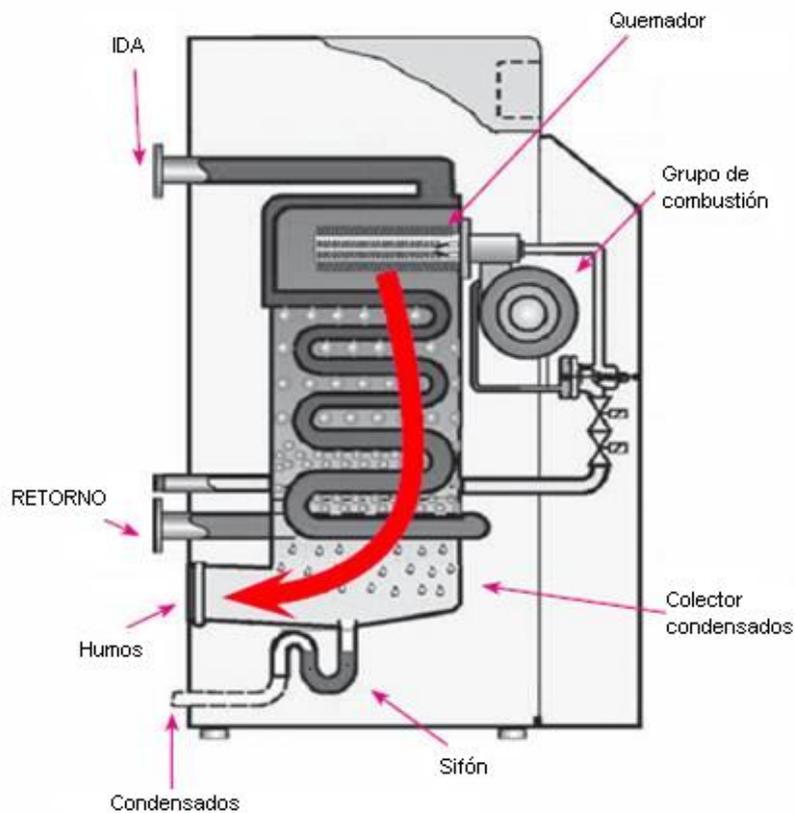
El vapor de agua en los humos suele estar en un orden del 10-20% de la presión atmosférica y, por ello, se considerará siempre un calor latente de condensación constante e igual a **2.384 kJ/kg (correspondiente a una temperatura de humos de 48 °C)** y no el valor de 2.258 kJ/kg correspondiente para el agua a presión atmosférica.

COMBUSTIBLE	PODER CALORÍFICO INFERIOR (Hi)				PODER CALORÍFICO SUPERIOR (Hs)			
	kWh/kg (MJ/kg)	MJ/Nm ³	MJ/Stm ³	RD 61/2006 MJ/kg	kWh/kg (MJ/kg)	MJ/Nm ³	MJ/Stm ³	RD 61/2006 MJ/kg
GAS NATURAL	13,05 (46,99)	38,99	36,96		14,43 (51,95)	43,14	40,9	
PROPANO	12,82 (46,15)	94,32	89,41	45,21	13,92 (50,11)	102,47	97,14	49,81
BUTANO	12,69 (45,67)	115,93	109,89	44,79	13,74 (49,47)	125,64	119,1	49,39
GASÓLEO C	11,56 (41,62)				12,23 (44,01)			

Valores obtenidos del RD 61/2006.

Tradicionalmente, el calor de evaporación no podía aprovecharse, por lo que se utilizaba el Poder Calorífico Inferior como valor de referencia para el rendimiento estacional. En las calderas de condensación, al aprovechar el calor latente, se producen rendimientos estacionales superiores al 100%, siempre respecto al P.C.I.

Hay tres partes bien diferenciadas en la transmisión de calor en una caldera. Una primera en la que la transmisión de calor fundamentalmente se realiza por la radiación de la llama al estar a muy alta temperatura, una segunda en la que cobra importancia el mecanismo de conducción-convección y una tercera (exclusiva en calderas de condensación) donde se aprovecha el calor de condensación del vapor de agua de los humos de combustión transmitiéndose igualmente por conducción-convección.



CALOR

La energía que puede intercambiar un cuerpo con su entorno depende del tipo de transformación que se efectúe sobre ese cuerpo y, por tanto, depende del camino. Los cuerpos no tienen calor, sino energía interna. El calor es la transferencia de parte de esa energía interna (energía térmica) de un sistema a otro, cuando están a diferente temperatura.

UNIDADES DE CALOR

En calefacción, como el fluido caloportador más utilizado es el agua, tradicionalmente, la unidad que se ha empleado es la **caloría**, que es la cantidad de energía que hay que suministrar **a un gramo de agua** para elevar un grado Celsius su temperatura. El múltiplo más utilizado es la kilocaloría (kcal).

La reglamentación, para unificar criterios entre países, impone el uso del Sistema Internacional de Unidades (**SI**) en el cual la unidad de energía es el Julio (**J**). Una caloría equivale a **4,19 J**. Como unidad práctica se admite el Wh cuya equivalencia es 860 cal.

ENERGÍA	J	cal	kJ	kcal	kWh
J	1	0,2389	0,001	0,000239	2,78E-07
cal	4,1868	1	0,0041868	0,001	1,16E-06
kJ	1.000	239	1	0,2389	0,000278
kcal	4.186,8	1.000	4,1868	1	0,001163
kWh	3.600.000	860.000	3.600	860	1

TRANSFERENCIA DE CALOR

El calor puede transferirse por tres métodos diferentes: radiación, conducción en sólidos y convección en fluidos (líquidos o gases). Aunque estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos predomine sobre los otros dos.

Radiación

La radiación es la transferencia de energía a través del espacio mediante ondas electromagnéticas.

Conducción

La conducción tiene lugar cuando dos objetos a diferente temperatura entran en contacto. El calor fluye desde el objeto más caliente al más frío, hasta que los dos objetos alcanzan la misma temperatura.

Convección

Se caracteriza porque la transferencia de calor se produce a través del desplazamiento de partículas entre regiones con diferentes temperaturas, por medio de un fluido (aire, agua).

El comportamiento de las calderas frente a las condensaciones origina la siguiente clasificación, de acuerdo al Real Decreto 275/1995 trasposición de la Directiva Europea 92/42/CEE:

- **Caldera estándar:** es aquella que no soporta los efectos de la condensación de los humos, es decir, que si los mismos se conden-

san la caldera se estropea, por lo que su funcionamiento se debe regular de manera que la temperatura de retorno siempre sea superior al punto de rocío de los humos. Utiliza temperaturas del agua de retorno superiores a 55 °C.

- **Caldera de baja temperatura:** es aquella que ha sido diseñada de manera que, aunque el agua retorne a temperaturas inferiores a las de condensación de los humos, los mismos no llegan a condensar. Utiliza temperaturas del agua de retorno entre 35 – 40 °C.
- **Caldera de condensación:** se fabrican con materiales especiales de modo que soporten las condensaciones sin deteriorarse, siendo éste el fenómeno deseado y con diseños que permiten la correcta evacuación de condensados. Utiliza temperaturas del agua de retorno entre 35 – 40 °C.

Se debe tener en cuenta que, cuanto menor sea la temperatura de retorno del agua, mayor es el aprovechamiento de la energía.

3. Principios básicos de la condensación

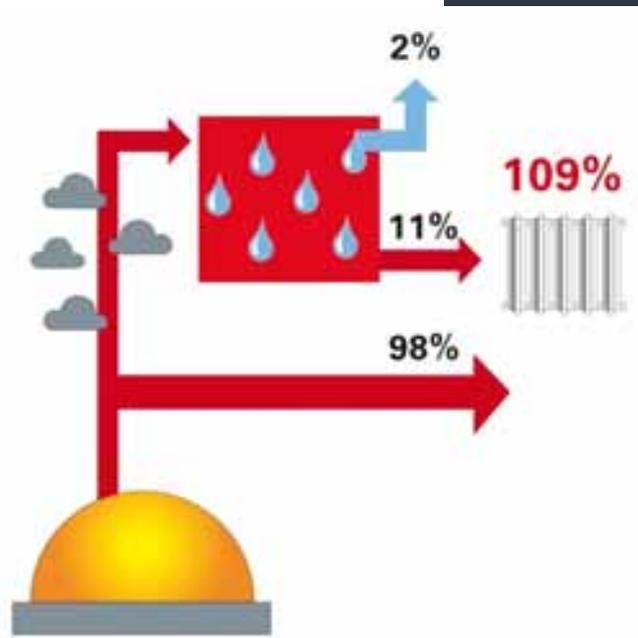
Se denomina **condensación** al proceso físico que consiste en el paso de una sustancia en forma gaseosa a forma líquida. Este cambio de fase genera una cierta cantidad de energía llamada "calor latente". El paso de gas a líquido depende, entre otros factores, de la presión y de la temperatura.

La condensación, a una temperatura dada, conlleva una liberación de energía. Así, el estado líquido es más favorable desde el punto de vista energético.

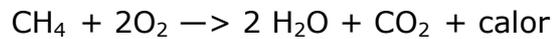
La técnica de condensación fuerza que los gases de combustión condensen y, de esta forma, se aproveche la energía latente en el vapor de agua para convertirla así en calor sensible.

Además se reducen considerablemente las pérdidas por humos a través del sistema de salida de gases procedentes de la combustión.

Durante la combustión, los componentes



combustibles del gas natural o gasóleo (carbono e hidrógeno) reaccionan con el oxígeno del aire, formando dióxido de carbono (CO₂), vapor de agua (H₂O) y calor:



El calor latente contenido en los humos, es liberado en la condensación del vapor de agua generado durante la combustión y transferido al agua de la caldera.

El proceso de condensación suele tener lugar cuando un gas es enfriado hasta su punto de rocío. Sin embargo, este punto también puede ser alcanzado variando la presión.

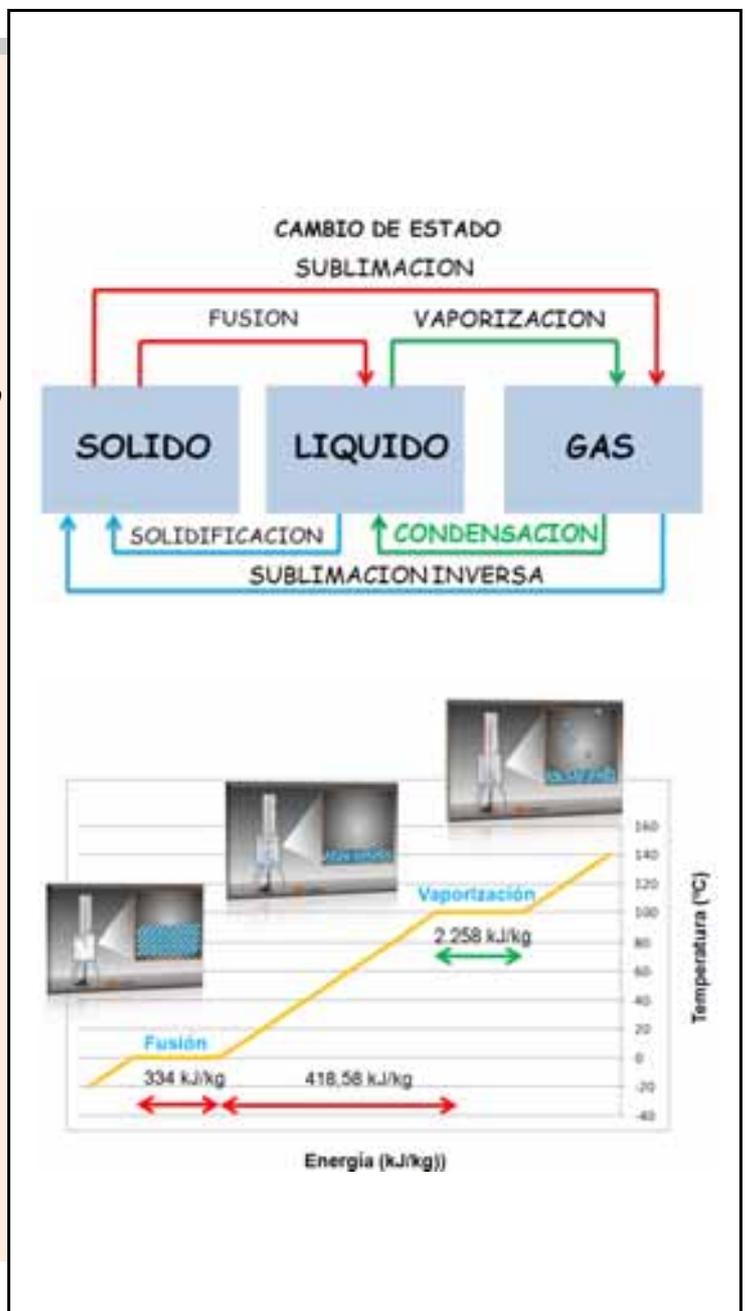
CALOR SENSIBLE Y CALOR LATENTE

Calor sensible (C_s) es aquel que, aplicado a una sustancia, eleva su temperatura sin cambio de estado, mientras que **calor latente (C_l)** es el que se absorbe, o cede, con el cambio de estado de sólido a líquido (calor latente de fusión C_{Lf}) o de líquido a gaseoso (calor latente de vaporización C_{Lv}).

Cuando se aplica calor al hielo (*AGUA EN ESTADO SÓLIDO*) a presión atmosférica, va subiendo su temperatura (por calor sensible) hasta que llega a 0 °C (temperatura de cambio de estado, fusión). Desde ese momento, aunque se le siga aplicando calor, la temperatura no varía hasta que se haya fundido completamente. Esto se debe a que el calor se emplea en la fusión del hielo (calor latente) para convertirse en estado líquido (*AGUA EN ESTADO LÍQUIDO*). A presión atmosférica, se necesitan 334 kJ/kg (93,8 Wh/kg).

Una vez fundido el hielo, si se continúa aportando calor, la temperatura seguirá subiendo (calor sensible) hasta alcanzar los 100 °C (temperatura de vaporización), necesitando para ello 418 kJ/kg (116,3 Wh/kg); desde ese momento se mantendrá estable hasta que se evapore todo el agua (*AGUA EN ESTADO GASEOSO*) que se había fundido. Este proceso, a presión atmosférica constante, requiere 2.258 kJ/kg (627,2 Wh/kg).

La energía necesaria para pasar de líquido a gas (evaporación) es la misma que se libera cuando se pasa de estado gaseoso a líquido (condensación).



TEMPERATURA DE ROCÍO

Para que se produzca la condensación del agua de los humos, deben darse unas condiciones determinadas de temperatura; la temperatura a partir de la cual empieza a formarse condensación se denomina temperatura de rocío.

Es fundamental conocer a qué temperatura se condensa el vapor de agua contenido en los humos, tanto cuando no se desea este proceso (los condensados pueden producir corrosión en la propia caldera o en la chimenea) como cuando es un fenómeno deseado para aprovechar su desprendimiento de energía (calderas de condensación).

La condensación empieza a la temperatura de rocío de los humos, que depende de la presión parcial del vapor de agua (es decir, de la cantidad de agua que hay en los humos); a continuación se muestran las temperaturas de rocío para los combustibles más utilizados en la climatización de edificios.

(%O ₂) seco	GASÓLEO-C	GAS NATURAL	PROPANO	(%O ₂) _{seco}	GASÓLEO-C	GAS NATURAL	PROPANO
	Tr (°C)	Tr (°C)	Tr (°C)		Tr (°C)	Tr (°C)	Tr (°C)
0	48,2	58,5	54,9	8,5	39,1	49,4	45,7
0,5	47,7	58,1	54,4	9,0	38,4	48,7	45,0
1,0	47,3	57,7	54,0	9,5	37,7	47,9	44,2
1,5	46,9	57,2	53,6	10,0	36,9	47,2	43,5
2,0	46,4	56,8	53,1	10,5	36,2	46,3	42,6
2,5	45,9	56,3	52,6	11,0	35,3	45,5	41,8
3,0	45,5	55,8	52,1	11,5	34,5	44,6	40,9
3,5	45,0	55,3	51,6	12,0	33,5	43,6	39,9
4,0	44,5	54,8	51,1	12,5	32,6	42,6	39,0
4,5	43,9	54,3	50,6	13,0	31,6	41,6	37,9
5,0	43,4	53,8	50,1	13,5	30,5	40,4	36,8
5,5	42,9	53,2	49,5	14,0	29,3	39,2	35,6
6,0	42,3	52,6	48,9	14,5	28,1	38,0	34,3
6,5	41,7	52,0	48,3	15,0	26,8	36,6	33,0
7,0	41,1	51,4	47,7	15,5	25,4	35,1	31,5
7,5	40,5	50,8	47,1	16,0	23,8	33,5	29,9
8,0	39,8	50,1	46,4	16,5	22,1	31,7	28,2

La tabla anterior indica, por ejemplo, que con gas natural, cuando los humos lleguen a 58,5 °C se empezará a aprovechar el fenómeno de la condensación incrementándose la misma conforme la temperatura disminuya de ese valor.

En resumen, los factores que influyen sobre el punto de rocío son los siguientes:

A ↑ Volumen de vapor de agua	→	↑ Temperatura de rocío
A ↓ Exceso de aire	→	↑ Temperatura de rocío
A ↓ Temperatura de retorno	→	↑ Extracción de calor

Por lo tanto:

A ↑ Temperatura de rocío	→	↑ Condensación
A ↑ Condensación	→	↑ Rendimiento energético

4. Características, diseño y ejecución de los elementos de las calderas de condensación

Se tratan a continuación otros aspectos a tener en cuenta a la hora de proyectar y ejecutar instalaciones con este tipo de generadores térmicos.

4.1. Funcionamiento

Para reducir pérdidas, es muy importante que la caldera trabaje con un exceso de aire lo más ajustado posible (reducción de las pérdidas por humos) y con un amplio nivel de modulación (reducción de las pérdidas por disposición).

PÉRDIDAS POR HUMOS

Son las pérdidas debidas al calor no aprovechado de los productos de la combustión que salen por la chimenea. Se componen de:

- Pérdidas de calor sensible: son las más importantes en el balance energético instantáneo de una caldera y dependen del porcentaje de CO_2 y de la temperatura de los humos.
- Pérdidas por inquemados: debidas al carbono del combustible no quemado totalmente y que genera CO .

PÉRDIDAS POR DISPOSICIÓN

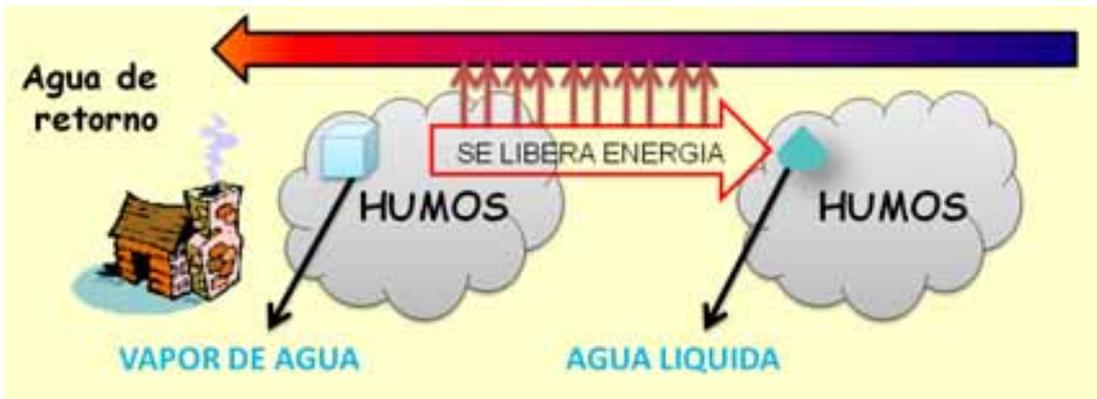
Son las pérdidas debidas a los periodos de paro de la caldera, momento en el que cede calor a través de su envolvente.

Un exceso de aire habitual en calderas de condensación de gas natural es de 1,3 mientras que el nivel de modulación suele ser de 1:4 (relación potencia máxima:potencia mínima).

El control del aire de combustión y la modulación de la potencia se consigue con la utilización de ventiladores de velocidad variable.

Como ya se ha comentado, la transmisión de calor comienza en la cámara de combustión por radiación con las paredes y a través de la misma mediante conducción. También existe un mecanismo de convección desde las paredes de la cámara al agua.

Los productos de la combustión, una vez que salen de la cámara de combustión, van cediendo calor al agua de la caldera. Los humos, según



avanzan, bajan su temperatura hasta alcanzar la temperatura de rocío y comenzar el proceso de condensación, cuyos productos deben poder circular y evacuarse.

Finalmente, los humos se evacuan en un rango de temperaturas entre 30 – 100 °C, temperaturas bajas que, en ocasiones, obligan al ventilador a aportar una presión para superar el conducto de humos, ya que el tiro disponible puede ser insuficiente.

También hay que contemplar que, dada la baja temperatura de humos, la condensación puede continuar durante su evacuación, por lo que los conductos deben estar fabricados con materiales adecuados para resistir la acción de los condensados.

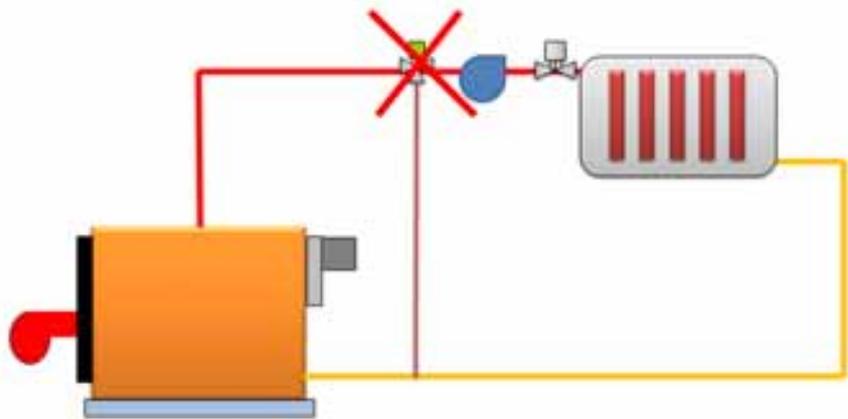
4.2. Circuito hidráulico

Se analizan a continuación una serie de particularidades para los circuitos hidráulicos.

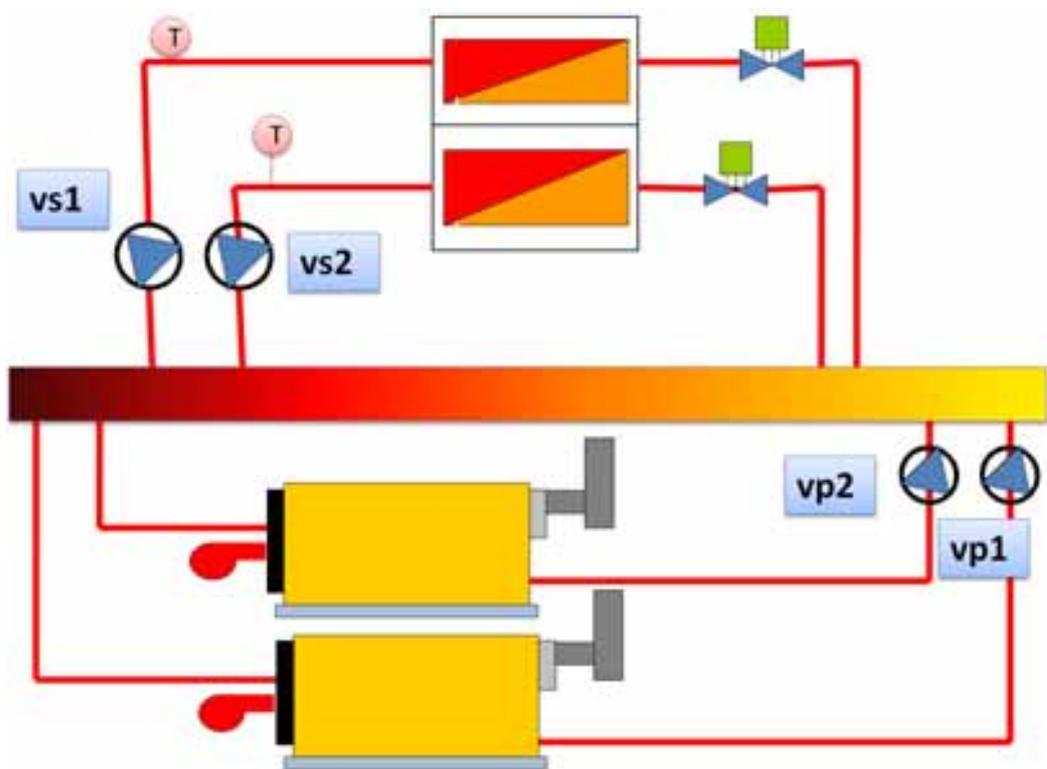
4.2.1. Circuito de calefacción

Desde el punto de vista hidráulico, la instalación de una caldera de condensación debe contemplar la posibilidad de trabajar con una temperatura de retorno lo más baja posible:

- Las bombas de caudal variable se adaptan mejor a los requisitos del sistema, evitando temperaturas de retorno altas y favoreciendo la técnica de la condensación.
- Procurar evitar que el agua de retorno llegue por encima del punto de rocío. Se deben evitar **válvulas mezcladoras** que provoquen conexiones directas entre la impulsión y el retorno, tratando de regular la temperatura de impulsión directamente sobre la temperatura de producción de la caldera, respetando siempre las condiciones de circulación por caldera que fije el fabricante.



- Los caudales regulados por la bomba del circuito de calefacción y la del circuito de la caldera tienen que ajustarse de forma tal que garantice que el caudal de agua circulante en el circuito de calefacción sea mayor, evitando que el agua caliente de la impulsión se mezcle con el retorno.

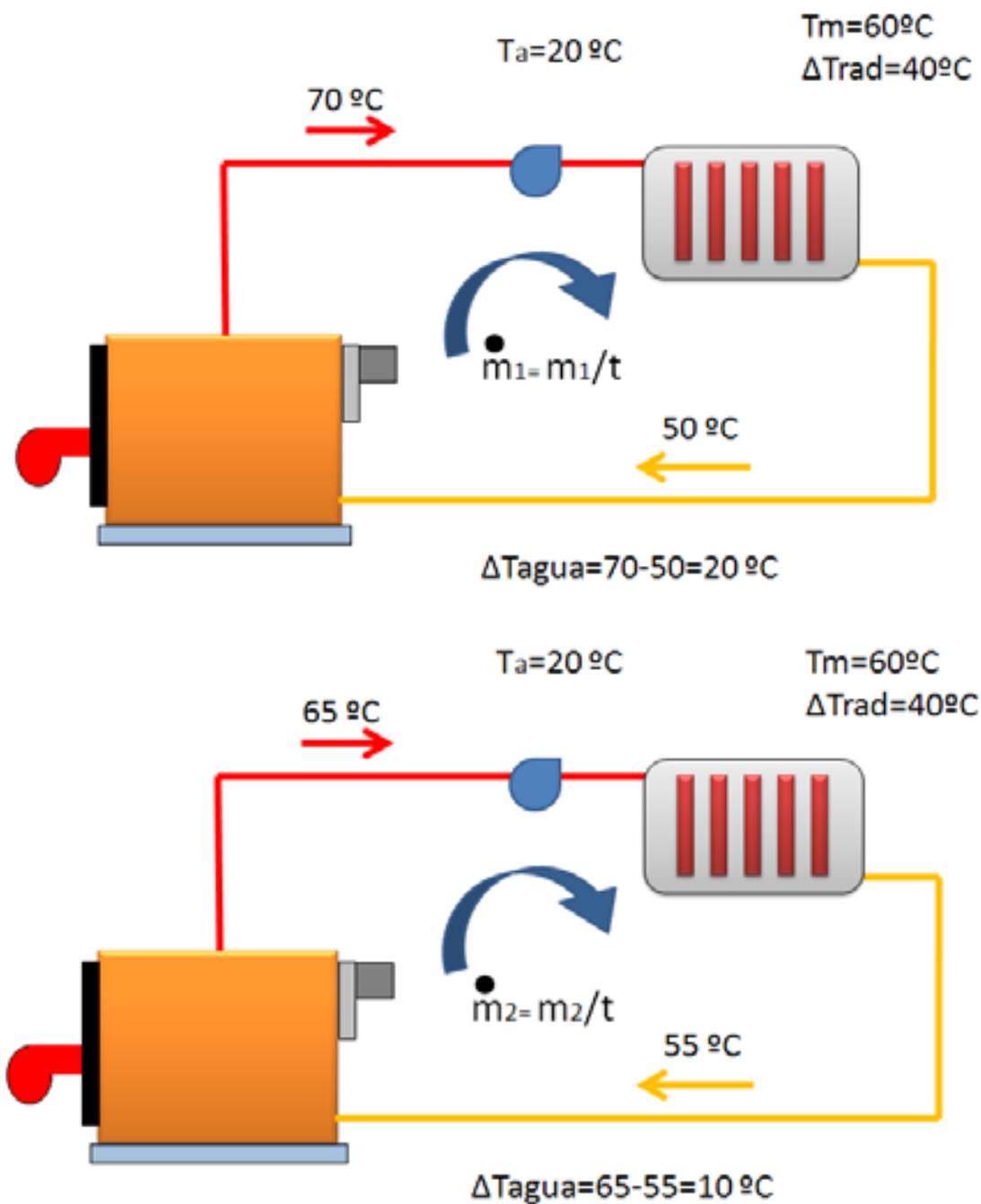


$$vp1 + vp2 < vs1 + vs2$$

La sonda de temperatura de ida debe situarse en la salida del colector de compensación de cara a medir la temperatura real hacia la instalación después de la mezcla.

- Los caudales que circulan por la instalación (y, por tanto, el dife-

rencial de temperatura) influyen también en el aprovechamiento de la condensación. Así, para una misma temperatura media, la condensación queda favorecida por una mayor diferencia de temperatura entre ida y retorno, es decir, para un caudal de agua menor.



Por tanto, el fenómeno de condensación queda favorecido por grandes saltos térmicos de agua, disminuyendo el consumo eléctrico de las bombas al mover menos caudal de agua.

No obstante, deben tenerse en cuenta los requisitos de caudales mínimos indicados por el fabricante.

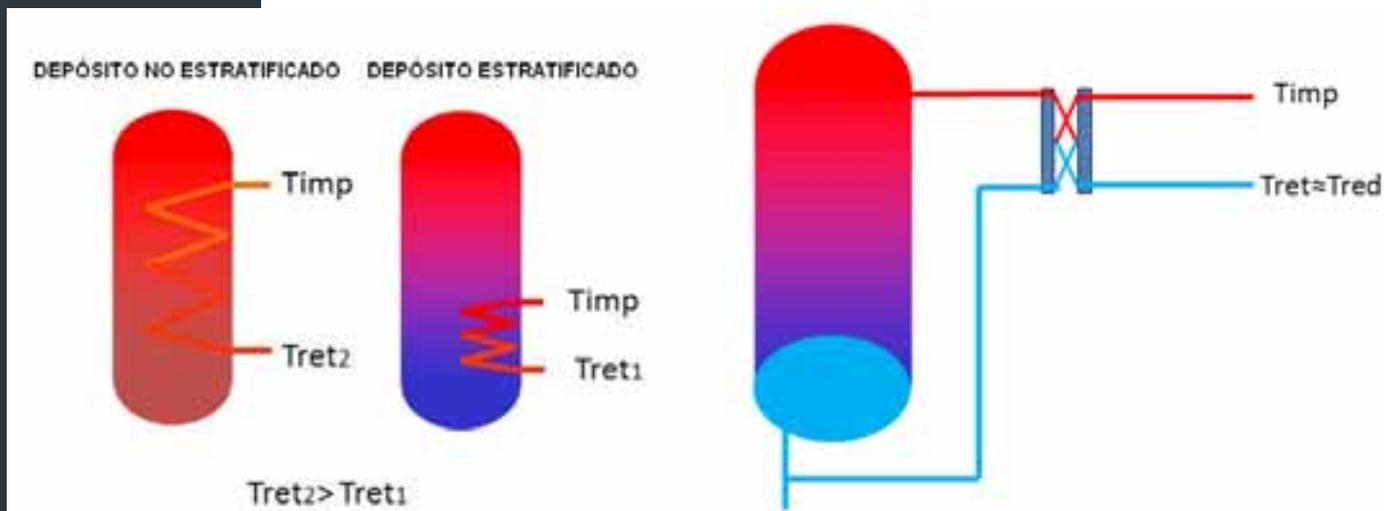
Los sistemas de suelo radiante, que trabajan con incrementos de temperatura bajos ($\Delta T = 5 \text{ }^\circ\text{C}$), necesitan mover más caudal de agua, y, por tanto, el consumo eléctrico de las bombas es más elevado que un sistema de radiadores, pero el mayor aprovechamiento de la condensación y la morfología propia de estos sistemas compensa claramente esta circunstancia.

4.2.2. Circuito de agua caliente sanitaria

La producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS) requiere temperaturas de impulsión elevadas ($80/60 \text{ }^\circ\text{C}$) para establecer un sistema de prevención antilegionela; por ello, en estos sistemas la condensación sólo se consigue en el periodo transitorio de calentamiento inicial, en el cual el circuito secundario (circuito de agua de consumo) se encuentre a temperaturas bajas (mayoritario en el calentamiento inicial de un depósito partiendo de temperatura de red).

Para intentar que la caldera condense un mayor número de horas se pueden aplicar las siguientes alternativas:

1. Utilizar depósitos acumuladores con elevada estratificación. En este tipo de depósitos, con dos temperaturas claramente diferenciadas (una superior en la zona de consumo y una inferior a temperatura próxima a la de la red), el intercambiador se sitúa en la parte más baja posible, logrando temperaturas de retorno a caldera próximas a la temperatura de red y unos niveles de condensación elevados.

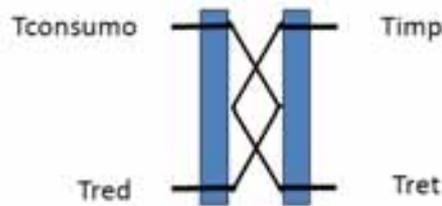


2. Colocar el intercambiador fuera del depósito, proporcionando una temperatura de retorno a la caldera ligeramente por encima de la

de entrada del agua al intercambiador, próxima a la temperatura del agua de la red.

3. En el caso de **producción instantánea** de ACS, por ejemplo mediante intercambiador de placas o similar, la temperatura de retorno a caldera (T_{ret}) dependerá de las condiciones de trabajo del circuito de consumo de ACS y del dimensionado del intercambiador (superficie de intercambio).

En este sentido, se conseguirán retornos a caldera más bajos con temperaturas de consigna de ACS bajas y con caudales de extracción elevados.



$$\downarrow T_{ref} \Rightarrow [\uparrow \text{Caudal de consumo}] \text{ o } [\downarrow T_{consumo}]$$

4. En cualquier caso, conviene programar las instalaciones de modo que el servicio de ACS se cubra en el menor tiempo posible, parándolo cuando se hayan alcanzado las temperaturas de consigna.
5. El sobredimensionado de las superficies de intercambio también permite trabajar con temperaturas de circuito primario (circuito de la caldera) menores.

4.3. Condensados

Una característica propia de este tipo de calderas es la necesidad de evacuar los condensados producidos, lo que implica disponer los medios para llevarlos al desagüe y poder neutralizarlos si fuera necesario.

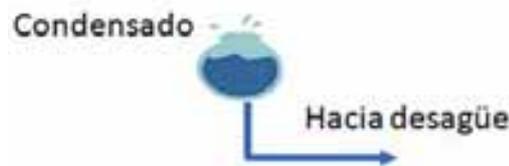
Cuanto mayor sea la cantidad de agua condensada, mayor será la efectividad de la caldera de condensación.

4.3.1. Evacuación

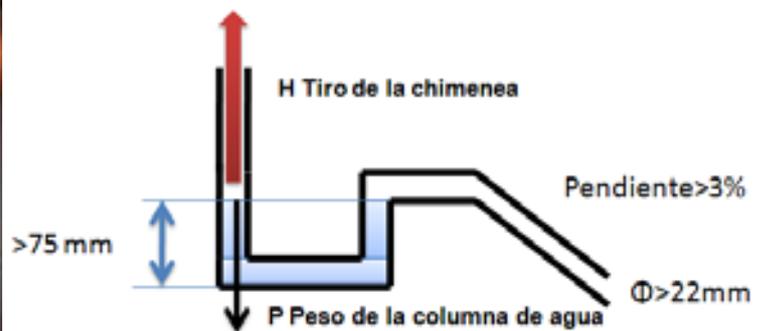
Con el gas natural se pueden llegar a producir $155 \text{ gH}_2\text{O}/\text{kWh}_{\text{PCI}}$ lo que, por ejemplo, para una caldera de 30 kW de potencia nominal, supondrían 4,65 l de condensados por hora:

$$155 \text{ g H}_2\text{O/kWh}_{\text{PCI}} \cdot 30 \text{ kW} = 4.650 \text{ g H}_2\text{O/h} = 4,65 \text{ kg H}_2\text{O/h}$$

Estos condensados no deben afectar a la combustión. Para ello, en la salida del circuito de humos debe incluirse un colector de material apropiado para recogerlos y evacuarlos al exterior de manera continua.



Para vencer la depresión en ese punto creado por la chimenea, debe intercalarse un cierre hidráulico previo en forma de sifón (recuérdese que dos botes sifónicos en serie no desaguan).



Algunas características técnicas que intentan regular esta salida de condensados podrían ser:

- Si la caldera no lo incluyese, debería dotarse al sistema de evacuación de un cierre hidráulico o sifón para evitar la entrada de malos olores desde el desagüe. Un sifón de altura mayor o igual a 75 mm es adecuado para este propósito.
- El sifón debe estar permanentemente lleno de agua. Este aspecto debe ser considerado en el momento de la puesta en marcha de la instalación, debiendo ser llenado por el instalador previo a la entrada en funcionamiento de la caldera.

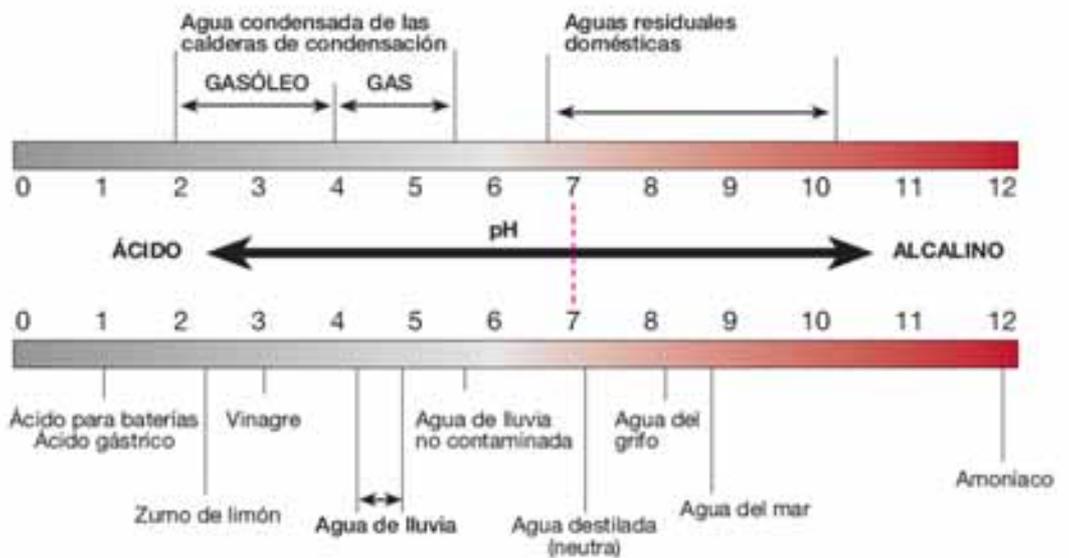
- En este sentido, son más adecuados sifones con alta capacidad de agua y con menos posibilidad de vaciado durante los periodos prolongados de paro de la instalación.
- El conducto de evacuación desde la caldera hasta el entronque con el desagüe debe mantener una pendiente constante durante toda su longitud de cara a asegurar la evacuación en todo momento. Un ángulo de inclinación igual o mayor al 3% es adecuado.
- Debe asegurarse el sellado del tubo de evacuación de condensados en todos los entronques que se efectúen.
- El tubo de evacuación debe ser lo más corto posible, evitando los recorridos del mismo por el exterior para reducir los riesgos de congelación del líquido (se recomienda que el máximo de recorrido exterior sea de 3 m).
- El tubo de evacuación debe tener un diámetro suficiente y no contener estrechamientos ni obstáculos en su recorrido. Un tubo de diámetro nominal igual o mayor a 22 mm se considera adecuado para recorridos internos. Para tubos que deban discurrir por el exterior, son aconsejables diámetros iguales o superiores a 32 mm para reducir la posibilidad de congelación del líquido en su interior. Estos valores son para potencias bajas, dependiendo realmente la sección de la potencia de la caldera.
- No deben utilizarse ni el cobre ni el acero galvanizado en el sistema de evacuación para evitar la corrosión. Los tubos de plástico utilizados en los sistemas de desagüe para este propósito son PVC, PE-HD, PP, ABS/ASA o acero inoxidable.
- Cuando, por la posición de la caldera con respecto al punto de desagüe, no puedan evacuarse los condensados por gravedad, se utilizarán bombas para la eliminación de los mismos.

4.3.2. Tratamiento de la acidez

En instalaciones de potencia superior a 70 kW, es conveniente tratar los condensados mediante productos básicos para neutralizar su acidez antes de su evacuación al desagüe.

Con combustibles gaseosos (gas natural o GLP) cuyo contenido de azufre es muy bajo, las principales reacciones derivadas provienen de la oxidación del nitrógeno (N_2) del aire y su conversión a óxidos de nitrógeno (NO_2 y NO_3 , generalizados como NO_x), los cuales, al condensar, reaccionan con el agua produciendo ácido nítrico (HNO_3), que confiere a los condensados su carácter ácido (pH 4-5).

En el caso del gasóleo, con mayor contenido en azufre (S) que los combustibles gaseosos, la combustión proporciona óxidos de azufre (SO_2 y SO_3 , generalizados como SO_x). Estos óxidos, en contacto con el agua de condensación, producen ácidos sulfuroso y sulfúrico, que resultan particularmente agresivos (pH 2- 4).



Algunos fabricantes disponen de equipos neutralizadores que contienen filtros de carbón activo y un granulado neutralizador (magnesio) que reaccionan con los ácidos de los condensados obteniéndose como resultado un agua de carácter prácticamente neutro (pH 6,5 – 9).



La cantidad del granulado neutralizador depende del caudal de condensados producido, por lo que deberá tenerse en consideración la potencia de la caldera a la hora de elegir el equipo de neutralización. De tal forma, cuando la cantidad de condensados sea elevada, será necesario una bomba circuladora.

El granulado neutralizador debe regenerarse de forma periódica, dependiendo el tiempo del grado de utilización de la caldera. Habitualmente, es suficiente con una operación anual.

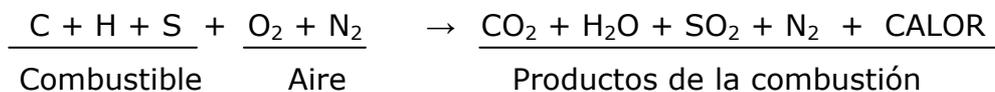
4.4. Humos

4.4.1. Productos de la combustión

Tal y como se ha indicado, el carbono y el hidrógeno del combustible reaccionan con el oxígeno transformándose en dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O), siendo éstos los principales productos de la combustión.

Sin embargo, el combustible puede contener otros elementos, como azufre (S), que reacciona con el oxígeno produciendo óxido de azufre (SO₂).

La reacción de combustión, por lo tanto, puede expresarse de la siguiente forma:



Además, como producto de la reacción del nitrógeno (N₂) del aire con el oxígeno, se forman óxidos de nitrógeno (NO_x).

4.4.2. Los productos de la combustión en las calderas de condensación

Debido a la reducida temperatura de los productos de la combustión de estas calderas, se origina un menor tiro. Por el contrario, esta temperatura más baja implica un menor volumen de humos, ya que el volumen es proporcional a las temperaturas y, en consecuencia, menos pérdida de carga, de cara al diseño de las chimeneas.

Para las calderas de condensación deben tenerse en cuenta estos aspectos:

$$\downarrow T_{\text{humos}} \Rightarrow \uparrow \rho_{\text{humos}} \Rightarrow \{H = h \cdot (\rho_{\text{humos}} - \rho_{\text{aire}})\} \downarrow$$

$$\downarrow T_{\text{humos}} \Rightarrow \downarrow V_{\text{humos}} \Rightarrow \Delta P \downarrow \Rightarrow \text{Se necesita menos tiro (H)}$$

TIPOS DE COMBUSTIÓN

Se define como **combustión completa** aquella en la que se consume todo el **carbono (C)** y el **hidrógeno (H)** del combustible, y **combustión estequiométrica** aquella en la que se utiliza el volumen exacto de aire (oxígeno).

En un proceso de combustión real, todo el oxígeno presente en el aire no es capaz de oxidarse con el combustible para producir una reacción de combustión completa; los productos no oxidados que se derivan de esta combustión se llaman **inquemados** y la combustión se denomina **combustión incompleta**.

Para evitar este problema en la práctica se debe aportar más aire que el estequiométrico.

A la relación entre el aire realmente utilizado en la combustión y el aire estequiométrico correspondiente al combustible se llama **índice de exceso de aire**:

$$N = \frac{A_{\text{real}}}{A_{\text{teórico}}} = \frac{\text{aire real} / \text{unidad de combustible}}{\text{aire teórico} / \text{unidad de combustible}}$$

En algunas ocasiones se indica solamente el **exceso de aire (e)** con respecto al teórico (estequiométrico) en tanto por uno o en porcentaje:

$$e = \frac{A_{\text{real}} - A_{\text{teórico}}}{A_{\text{teórico}}} = \frac{A_{\text{real}}}{A_{\text{teórico}}} - \frac{A_{\text{teórico}}}{A_{\text{teórico}}} = N - 1 \quad e (\%) = e \cdot 100$$

Se tiene exceso de aire cuando $N > 1$, existe defecto de aire cuando $N < 1$ y se dice que la mezcla es **estequiométrica** cuando $N = 1$.

Cuanto más fácil sea mezclar el combustible con el aire menor exceso de aire se requerirá para lograr su combustión completa; por ello, el exceso de aire habitualmente es menor con combustibles gaseosos que con líquidos, y a su vez con éstos menor que con los sólidos.

Teniendo en cuenta que nunca deben utilizarse valores de N menores que uno, un orden de valores habitual es:

Sólidos	$1,5 < N < 2,0$	$(0,5 < e < 1,0)$	$(50 < e (\%) < 100)$
Líquidos	$1,1 < N < 1,2$	$(0,1 < e < 0,2)$	$(10 < e (\%) < 20)$
Gaseosos	$1,0 < N < 1,1$	$(0,0 < e < 0,1)$	$(0 < e (\%) < 10)$

donde,

H = Tiro de la chimenea (mm ca).

h = Altura de la chimenea (m).

ρ_{humos} = Densidad de los humos (kg/m^3).

ρ_{aire} = Densidad del aire (kg/m^3).

ΔP = Pérdida de carga (mm ca).

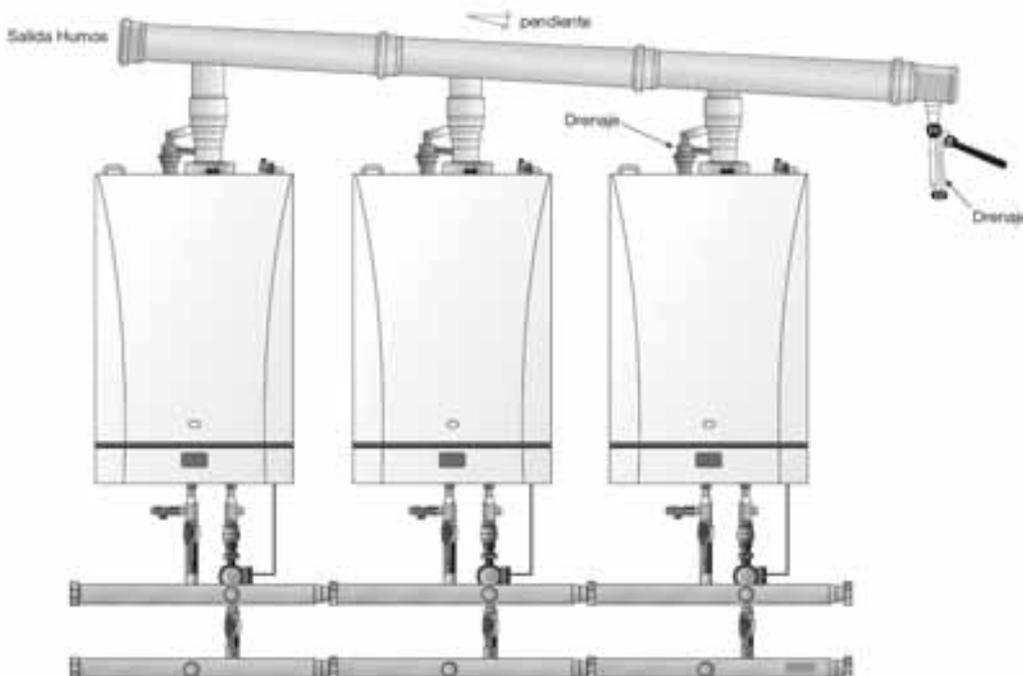
El proceso de condensación se sigue presentando a lo largo de todo el tramo de evacuación, motivo por el cual los conductos de humos empleados en este tipo de calderas deben ser especiales y apropiados para resistir la acción de los condensados:

1. Los materiales recomendados son:

- Acero inoxidable. Siendo especialmente recomendables los tipos AISI 444, AISI 316 L, y AISI 904 L.
- PPs (polipropileno autoextingible). Es ampliamente utilizado en este tipo de aplicaciones debido a su resistencia a la acción de condensados. Su temperatura máxima de trabajo es de 120 °C.
- PVDF (polifluoruro de vinilideno). Presenta una buena resistencia a la acción de los condensados, además de poder trabajar a una temperatura de 170 °C. Su precio es más elevado que el PPs.
- Aluminio.

2. En cuanto a la ejecución constructiva de la chimenea, deben tenerse en cuenta las precauciones siguientes:

- Evitar tramos horizontales que pudieran suponer la acumulación de condensados. A estos efectos deben mantenerse pendientes del 3% en todo el recorrido.



- Situar un punto de drenaje en la parte más baja de la chimenea, con conexión a desagüe en calderas conectadas en serie.
- Las juntas de los entronques de las chimeneas tienen que ser apropiadas para la agresividad de los condensados que puedan aparecer.

3. Reglamentación a cumplir:

- En lo relativo a los conductos de evacuación de humos, son de aplicación los requisitos comunes al resto de calderas, derivados del RITE, IT 1.3.4.1.3.2 *Diseño y dimensionado de chimeneas*.

4.5. Seguridad

Además de los dispositivos de seguridad propios de una caldera (seguridad por sobret temperatura, presencia de llama, presión, etc.), las calderas de este tipo deben incluir sistemas de seguridad particulares, relacionados especialmente con la evacuación de humos y condensados.

Debido a que en estas instalaciones pueden utilizarse chimeneas de plástico (especialmente PPs), debe evitarse que los humos salgan a una temperatura superior a la máxima permitida por este tipo de material (120 °C) y para garantizar un mayor rendimiento, suele incluirse un termostato de humos que bloquea la caldera si la temperatura de los productos de combustión a la salida de la misma supera un límite prefijado.

Algunas calderas, sobre todo las de alta potencia, incluyen seguridades sobre el sistema de evacuación de condensados. Debe notarse que la interrupción en la evacuación de condensados de la caldera podría derivar en una obstrucción total o parcial en la salida de humos afectando a la combustión.

Si los condensados superan un cierto nivel, suelen utilizarse sistemas basados en sensores de nivel que bloquean la caldera.

4.6. Montaje y mantenimiento

Respecto al montaje y mantenimiento, estas calderas tienen los mismos requisitos que las calderas tradicionales con el añadido de los sistemas de evacuación de los condensados ya tratados en apartados anteriores.

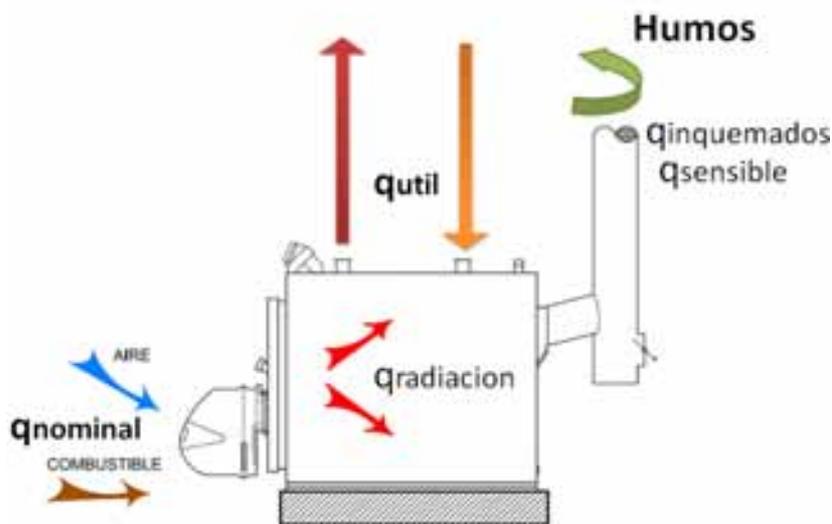
5. Rendimientos

El rendimiento se define como la relación entre la potencia útil que se obtiene al calentar agua y la carga desarrollada por el gas al quemarse.

Seguidamente, se describirán el **rendimiento útil nominal** (cuando la caldera está funcionando) y el **rendimiento estacional** (en una temporada o campaña).

5.1. Rendimiento útil nominal

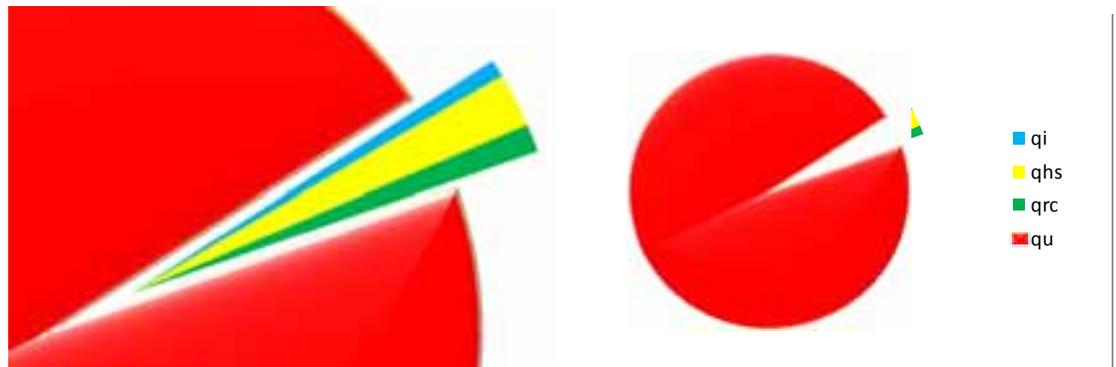
No toda la energía que llega a la caldera (potencia nominal q_n) proveniente del combustible es aprovechada por ella (potencia útil q_u) para calentar el agua, ya que existen pérdidas de energía por su envolvente (q_{rc}) (radiación de calor) y por los humos (pérdidas de calor sensible q_{hs} , pues los mismos salen a temperatura más alta, y por inquemados debidos a que la combustión en la caldera no siempre es completa q_i).



Se debe expresar el rendimiento nominal útil (η_u) de una caldera, que es el rendimiento puntual, considerando también las pérdidas por la envolvente de la caldera.

$$\eta_u (\%) = \frac{q_u}{q_n} * 100 = 100 - \frac{q_{hs} + q_i + q_{rc}}{q_n}$$

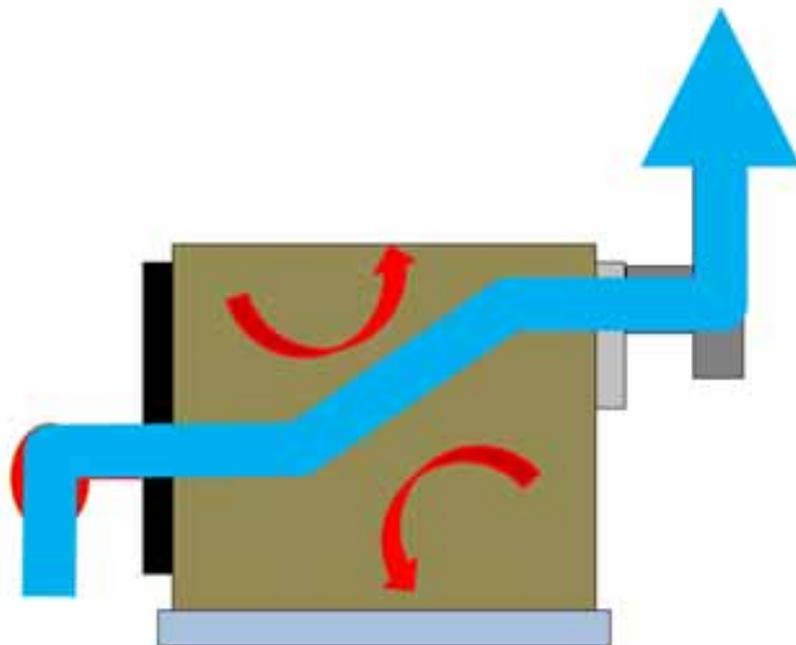
Las mayores pérdidas corresponden a los humos, que a su vez, dependen del exceso de aire de la combustión. A mayor exceso de aire, mayor masa de humos, de la temperatura de los mismos y de los inquemados, los cuales habitualmente son muy bajos (q_{hs}).



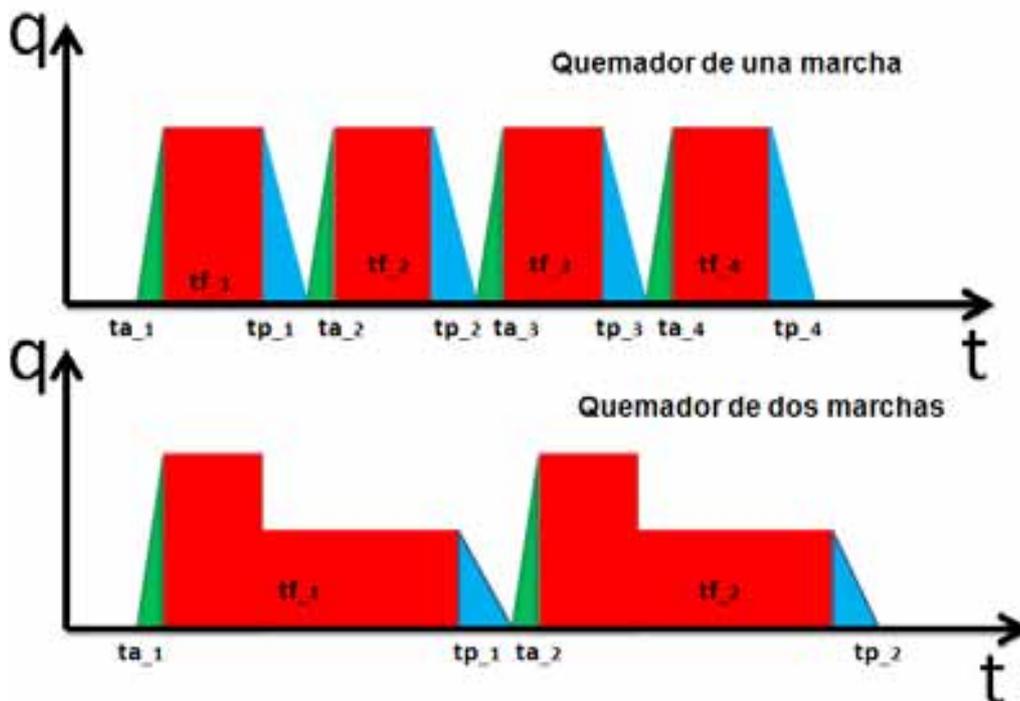
5.2. Rendimiento estacional

El rendimiento estacional (η_e) contempla las pérdidas debidas a los periodos de parada de la caldera, en los cuales la misma cede calor al ambiente a través de su envolvente, hasta enfriarse, y a la vez también cede calor al circuito de humos debido a la circulación de aire en los periodos de parada y en las arrancadas en el proceso de prebarrido. Estas pérdidas son conocidas como pérdidas por disposición de servicio.

Pérdidas de disposición en servicio = Pérdidas envolvente + Pérdidas ventilación



Se distinguen, por tanto, tres periodos en el horario de servicio de una caldera, las horas de funcionamiento (t_f), las horas de parada (t_p) y las horas de arrancadas (t_a).



$$t_T = t_f + t_p + t_a = t_{a_1} + t_{a_2} + t_{a_3} + \dots + t_{f_1} + t_{f_2} + t_{f_3} + \dots + t_{p_1} + t_{p_2} + t_{p_3} + \dots$$

El rendimiento estacional siempre es menor que el de **generación**, y disminuye a medida que aumenta el número de arrancadas (t_{a_i}) y paradas del equipo (t_{p_i}), pues las pérdidas por ventilación y radiación son proporcionales a estos tiempos.

Por este motivo se utilizan quemadores de varias etapas, con el fin de reducir el número de arrancadas; se tienen quemadores de dos etapas, que pueden trabajar a potencia total o a media carga, y quemadores modulantes, que son capaces de producir un amplio margen de potencias; en las calderas de condensación habitualmente se utilizan quemadores modulantes.

5.3. Requisitos de rendimiento

La **Directiva 92/42/CEE** establece unos rendimientos mínimos de calderas nuevas de agua en función de su tipología y de su potencia útil (q_u) en dos condiciones de funcionamiento:

- A potencia nominal y para una temperatura media del agua de 70 °C.

- Al 30% de la carga de la caldera y para una temperatura media del agua variable en función del tipo de caldera.

Los diferentes tipos de calderas deberán cumplir los siguientes rendimientos útiles ($T_m = (T_e + T_s) / 2$):

Tipo de caldera	Potencia nominal		Carga parcial	
	T_m (°C)	Rendimiento mínimo	T_m (°C)	Rendimiento mínimo
ESTÁNDAR	70	$84+2*\log q_u$	50	$80+3*\log q_u$
BAJA TEMPERATURA (*)	70	$87,5+1,5*\log q_u$	40	$87,5+1,5*\log q_u$
CONDENSACIÓN	70	$91+1*\log q_u$	30(**)	$97+1*\log q_u$

(*) y condensación de gasóleo (**) Temperatura de retorno

Además de fijar un rendimiento mínimo, la Directiva establece una clasificación de las calderas estándar en categorías basándose en su mayor o menor rendimiento (siempre por encima del mínimo requerido) según la tabla adjunta. Esta clasificación adjudica estrellas en función del rendimiento de la caldera según expresiones logarítmicas, resultando mayores los rendimientos cuanto más altas sean las potencias.

Clasificación (DEROGADO)	Requisito de rendimiento a potencia nominal q_u y T_m 70 °C	Requisito de rendimiento a carga parcial $0,3 q_u$ y T_m 50 °C
*	$\geq 84+2\log q_u$	$\geq 80+3\log q_u$
**	$\geq 87+2\log q_u$	$\geq 83+3\log q_u$
***	$\geq 90+2\log q_u$	$\geq 86+3\log q_u$
****	$\geq 93+2\log q_u$	$\geq 89+3\log q_u$

El **Real Decreto 1369/2007** de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos que utilizan energía modifica el **Real Decreto 275/1995** y anula la clasificación en estrellas para abogar por una clasificación en función del rendimiento estacional calificado por letras y no estrellas. Esta clasificación aún está pendiente de definición.

La norma UNE EN 15378:2007 utiliza los datos de identificación de la caldera a carga parcial del 30% para estimar el rendimiento estacional (η_e) de la caldera (se multiplicará este valor por un factor dado en una tabla nacional).

Si no se dispone del rendimiento a la carga del 30%, se utilizan los datos a **carga total** y se multiplicará por otro factor diferente.

Todavía no existe una tabla a nivel nacional, pero la norma propone utilizar la siguiente (para calderas domésticas):

DE PIE				MURAL			
Tiro natural		Tiro forzado		Tiro natural		Tiro forzado	
Piloto permanente	Encendido electrónico						
0,85* η (30%)	0,90* η (30%)	0,91* η (30%)	0,94* η (30%)	0,91* η (30%)	0,94* η (30%)	0,92* η (30%)	0,96* η (30%)
0,80* η (100%)	0,85* η (100%)	0,87* η (100%)	0,92* η (100%)	0,87* η (100%)	0,92* η (100%)	0,89* η (100%)	0,94* η (100%)

6. Tipos de instalaciones

La caldera de condensación está indicada para cualquier tipo de instalación, ya sea para calefacción y/o agua caliente sanitaria, independientemente de la temperatura de trabajo, tipo de emisores, etc.

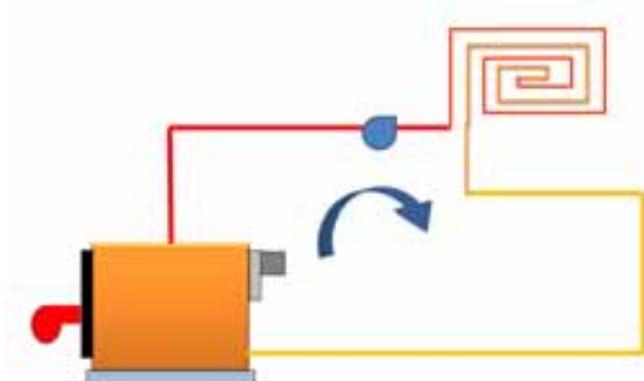
Las calderas de condensación pueden aplicarse a todas las instalaciones de calefacción. El calor de condensación explotable dependerá de la configuración de la instalación.

6.1. Sistemas de baja temperatura

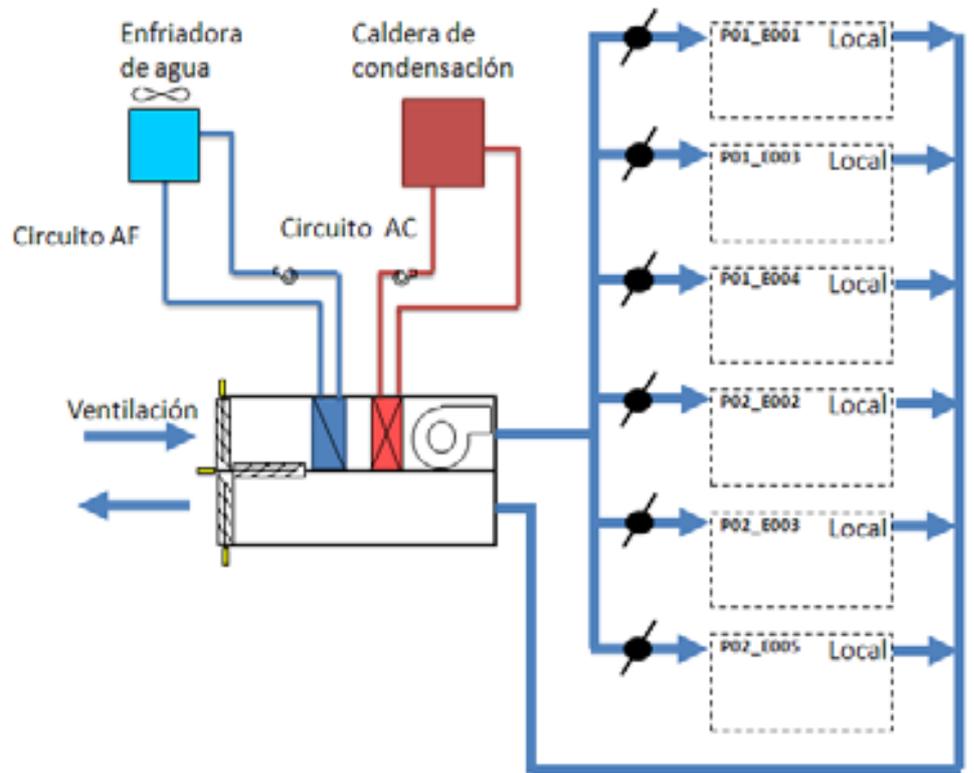
Existen aplicaciones en las que se potencian aún más los beneficios de las calderas de condensación. Son sistemas que, por su propio diseño, trabajan a baja temperatura, temperaturas de impulsión en torno a 50 °C y, por tanto, con temperaturas de retorno aún más bajas, lo que permite un aprovechamiento máximo de las calderas de condensación, pues siempre se retorna el agua por debajo de la temperatura de rocío.

Se pueden distinguir en este sentido cuatro casos básicos:

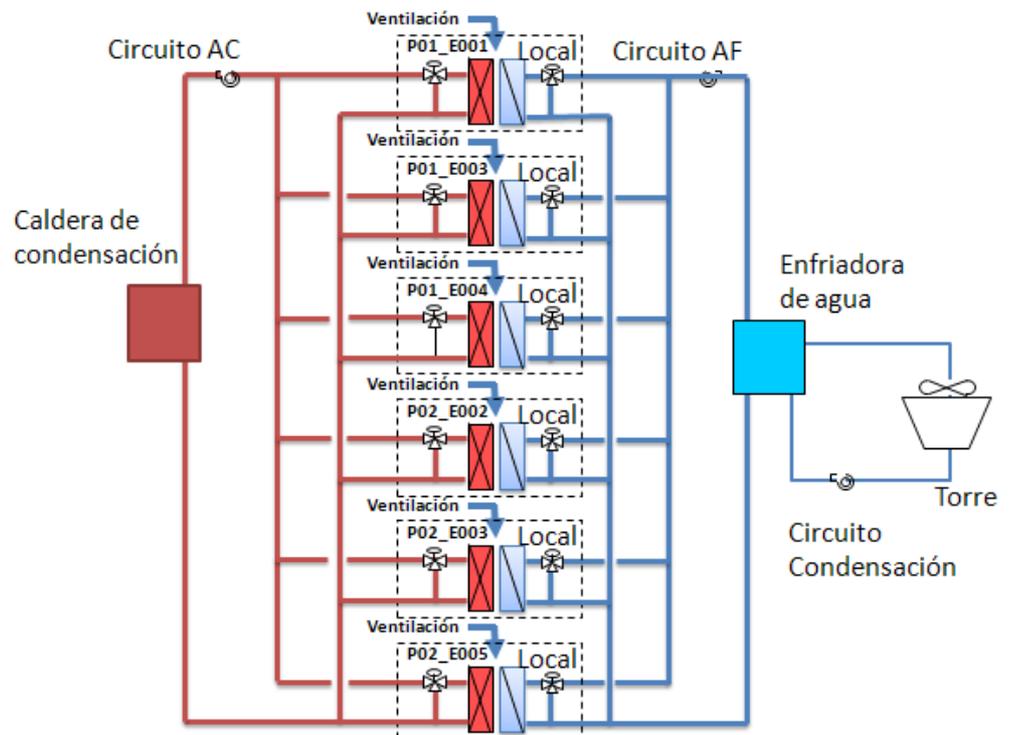
- **Suelo radiante**



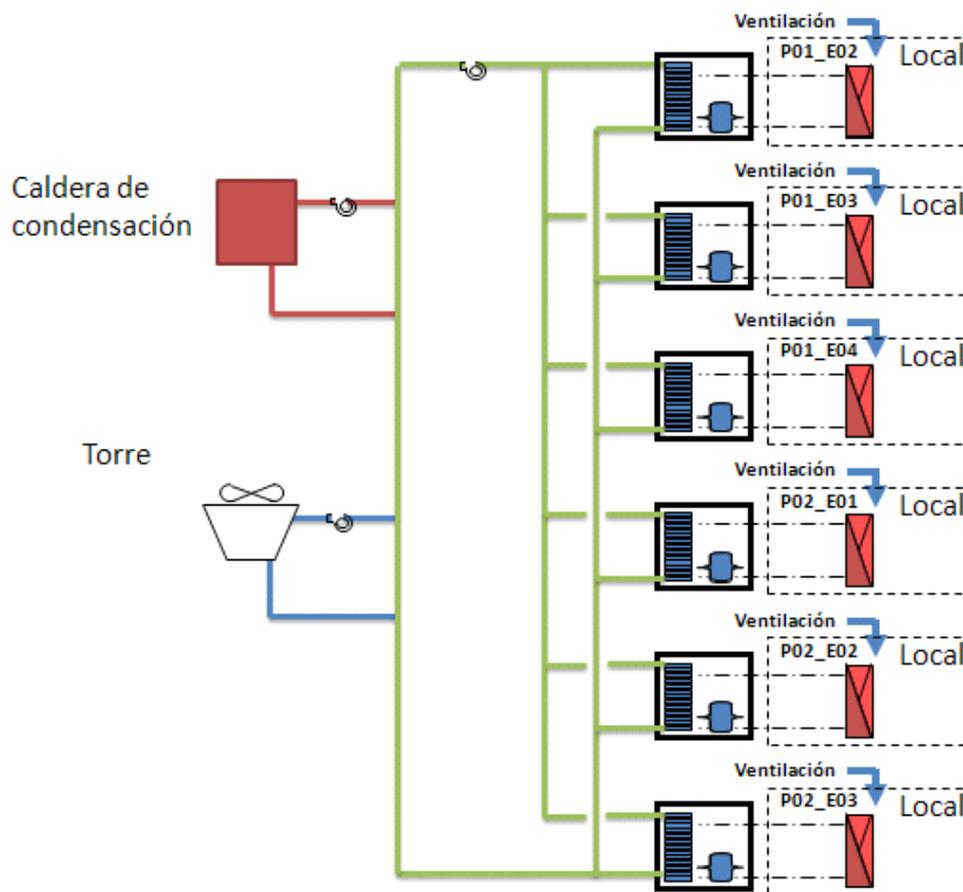
- **Sistemas todo aire**



- **Fan-coil**



- **Lazo energético**



El empleo de una caldera de condensación en instalaciones de suelo radiante es, pues, una aplicación idónea, puesto que al trabajar a baja temperatura el rendimiento será el máximo y la caldera no sufrirá problemas de condensaciones no controladas.

También existen otras posibilidades, como el calentamiento del agua de piscinas, spas, etc.

6.2. Calefacción con radiadores

En las instalaciones de calefacción, los radiadores se dimensionan para las temperaturas exteriores más bajas de cada localidad; sin embargo, la mayor parte de las horas dichas temperaturas son superiores, lo que implica que la regulación de los sistemas de calefacción deba adecuarse a estas situaciones. En instalaciones individuales suele utilizarse un termostato ambiente, manteniéndose fija la temperatura de impulsión; sin embargo, en instalaciones centrales lo habitual es adecuar esta tempe-

ratura a las necesidades de cada momento, reduciendo la temperatura de impulsión a radiadores según aumenta la temperatura exterior, lo que proporciona temperaturas de retorno más bajas en un amplio número de horas.

Si se utilizan calderas estándar, las mismas deben trabajar a temperatura fija, proporcionándose la regulación mediante elementos en el circuito, como válvulas motorizadas; sin embargo, el empleo de calderas de condensación permite actuar directamente sobre la temperatura de producción de la caldera aprovechando el fenómeno de condensación durante largos periodos de tiempo.

Este criterio de regulación puede emplearse tanto en instalaciones centrales como individuales.

Evidentemente, cuanto más baja sea la temperatura de diseño de las instalaciones, mayor será el potencial de aprovechamiento de la técnica de la condensación, lo que no supone que la misma no sea aprovechable con temperaturas mayores, aunque en menor grado, cuanto mayor sea dicha temperatura.

Desde 1998, con la aplicación del RITE, la temperatura máxima en los radiadores se limita a 80 °C, siendo tradicional el diseño con temperaturas 80-60 °C.

Las instalaciones existentes, anteriores a esa fecha, se diseñaban habitualmente para trabajar a 90-70 °C.

Por último, tomando como referencia los 60 °C que el RITE establece como temperatura máxima para las partes accesibles de las instalaciones, sería más adecuado adoptar como condiciones de diseño 60-50 °C.

7. Conclusiones

En general, se puede decir que las principales características de las calderas de condensación son:

- Aprovechan el calor latente de los humos (condensación).
- Requieren una extracción de la corriente de condensados mediante sifón y tubería de PVC.
- El intercambiador es de gran superficie y resistente a corrosión, normalmente del tipo espiral de acero inoxidable o también de fundición en aluminio.
- El rendimiento energético teórico puede llegar a ser el 110% respecto del PCI.

- Frente a las calderas tradicionales o de baja temperatura, su rendimiento aumenta a carga parcial.
- Disponen de un quemador cilíndrico de premezcla que trabaja a temperatura inferior que la de un quemador convencional.
- Sus emisiones de NOx son muy bajas, pudiendo alcanzar 20-30 mg/kWh.

El potencial de mejora del rendimiento de las calderas debido al aprovechamiento del calor de condensación del agua de los humos es la mayor evolución que pueden experimentar las calderas, ya que, respecto al poder calorífico inferior, se han alcanzado valores muy altos; es por ello que cada vez se emplearán más este tipo de calderas.

Por lo tanto, las calderas de condensación presentan unas menores pérdidas superficiales, al poder disminuir la temperatura de la caldera en función de la temperatura exterior, y unas menores pérdidas por humos, al reducir la temperatura de los gases de la combustión a menos de 50 °C.

Las calderas de condensación son los equipos en los que se ha integrado mayor tecnología, por lo que, incluso trabajando en condiciones en las que no se alcance la condensación, proporcionan altos rendimientos. Además, incorporan quemadores modulantes y con emisiones de contaminantes reducidas que las convierten en los equipos más adecuados para las aplicaciones de los sectores residencial y terciario.

Evidentemente, para un óptimo aprovechamiento, deben diseñarse y ejecutarse todos los circuitos de las instalaciones de manera que trabajen siempre a la menor temperatura posible, siendo ésta una labor que incumbe a todos los profesionales del sector.

Pueden aplicarse junto con sistemas de calefacción de baja temperatura 40 °C/30 °C (suelo radiante) con las siguientes características:

- Las temperaturas de retorno de calefacción nunca sobrepasan la del punto de rocío.
- Se aprovecha todo el calor de condensación durante todo el periodo de calentamiento.
- Las instalaciones de suelo radiante son ideales para las calderas de condensación, ya que se aprovecha el máximo rendimiento de la caldera.

Con sistemas convencionales 75 °C/60 °C (radiadores), también se pueden utilizar presentando las siguientes características:

- A estas temperaturas, la condensación se genera a partir de una temperatura exterior de, aproximadamente, -1 °C, puesto que la

temperatura de retorno desciende por debajo de la del punto de rocío.

- De esta forma, el 90% de la energía empleada anualmente puede cubrirse con el aprovechamiento de la condensación.
- Incluso en una instalación diseñada con temperaturas de 90/70 °C, los gases de la combustión condensan cuando la temperatura exterior supera los +4 °C.

Anexo 1. Otros conceptos

CONDICIONES NORMALES

Se entiende por **condiciones normales** las adoptadas como referencia para la determinación de propiedades físicas, químicas, etc., de una sustancia, objeto o sistema; comúnmente comprende la presión y temperatura.

Refiriéndose a los gases, las condiciones normales de presión y temperatura para la determinación de sus propiedades son, por acuerdo internacional, 0 °C (273,15 K) y 1 atm.

Para pasar un volumen V de un gas en unas condiciones, por ejemplo, de una temperatura de 20 °C y una presión de 1 atmósfera, a condiciones normales, se opera como sigue:

$$nR = \text{cte} = \frac{P \cdot V}{T} = \frac{P_N \cdot V_N}{T_N} \xrightarrow{P_N=P} V_N = T_N \cdot \frac{V}{T} = 273,15 \cdot \frac{V}{(273,15 + 20)} = 0,93 \cdot V$$

Para pasarlo de condiciones normales a las mencionadas condiciones se realiza la operación inversa, es decir, que el volumen ocupado en esas condiciones es $1,08 \cdot V_N$, un 8% superior al volumen en condiciones normales.

PODER COMBURÍVORO

El **poder comburívoro (V_a)** es el aire necesario para realizar la combustión completa y estequiométrica (sin exceso) de la unidad de combustible.

$$V_a = \frac{\text{Nm}^3 \text{aire}}{\text{Nm}^3 \text{combustible}}$$

$$V_a = \frac{\text{Nm}^3 \text{aire}}{\text{kg combustible}}$$

En función de la composición del combustible, varían la cantidad de aire comburente necesario y el volumen de humos producido. Sin embargo, el aire que se necesita para la combustión por unidad de energía de cualquier combustible es prácticamente el mismo (aproximadamente 1 Nm³ de aire por cada kWh de poder calorífico inferior).

COMBUSTIBLE	Nm ³ Aire/kWh _{Hi} (Nm ³ Aire/MJ _{Hi})	Nm ³ Aire/kWh _{Hs} (Nm ³ Aire/MJ _{Hs})
GAS NATURAL	0,96 (0,27)	0,87 (0,24)
PROPANO	0,94 (0,26)	0,87 (0,24)
BUTANO	0,94 (0,26)	0,87 (0,24)
GASÓLEO C	0,92 (0,26)	0,87 (0,24)

Recuérdese que el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) legisla **la necesidad de ventilación** siempre que haya equipos de combustión (calderas) y, así, en su Instrucción Técnica *IT 1.3.4.1 Caracterización y cuantificación de la exigencia de seguridad. Generación de calor y frío* en su apartado 5 dice que la ventilación de los locales donde se instalen estos equipos cumplirá con los requisitos de la reglamentación de seguridad industrial vigente, mientras que en la *IT 1.3.4.1.2.7 Ventilación de salas de máquinas* analiza exhaustivamente cómo se debe ejecutar ésta.

PODER FUMÍGENO

El **poder fumígeno (V_h)** es el volumen de los productos de la combustión completa, y sin exceso de aire, de la unidad del combustible (humos = $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{N}_2$ mayoritariamente).

$$V_h = \frac{\text{Nm}^3 \text{humos}}{\text{Nm}^3 \text{combustible}}$$

$$V_h = \frac{\text{Nm}^3 \text{humos}}{\text{kg combustible}}$$

El volumen de humos producido depende de la composición de cada combustible, si bien, como en el caso del poder comburívoro, referido a la unidad de potencia se asemeja en todos los combustibles, siendo del orden de $1 \text{ Nm}^3/\text{kWh}_{\text{Hi}}$.

COMBUSTIBLE	Nm ³ Humos/ kWh _{Hi}	Nm ³ Humos/ kWh _{HS}	kgCO ₂ / kg combustible	gCO ₂ / kWh _{Hi}	gCO ₂ / kWh _{HS}	gH ₂ O/ kWh _{Hi}	gH ₂ O/kWh _{HS} (gH ₂ O/MJ _{Hi})
GAS NATURAL	1,06	0,96	2,66	204	185	156	141 (43,25)
PROPANO	1,02	0,94	3,00	234	215	127	117 (35,15)
BUTANO	1,02	0,94	3,03	239	220	123	113 (34,08)
GASÓLEO C	0,98	0,92	3,18	275	260	87	82 (24,07)

MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

Cuando la combustión es incompleta aparecen los inquemados, siendo el principal el **monóxido de carbono**, el cual, no sólo no aprovecha toda la energía disponible, sino que se está entregando al ambiente un gas tóxico y mortal en ciertas concentraciones para el ser humano.

La norma **UNE EN 15378** *Sistemas de calefacción en los edificios. Inspección de calderas y sistemas de calefacción*, marca unos umbrales de

emisiones de referencia de CO para las instalaciones *in situ* hasta que existan unas referencias nacionales:

COMBUSTIBLE	[CO] _{SECO} (ppm ¹)
Gas natural	<100
Hidrocarburos ligeros y gasóleo C	<50

¹ ppm[=]cm³CO/m³ humos secos.

ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO_x)

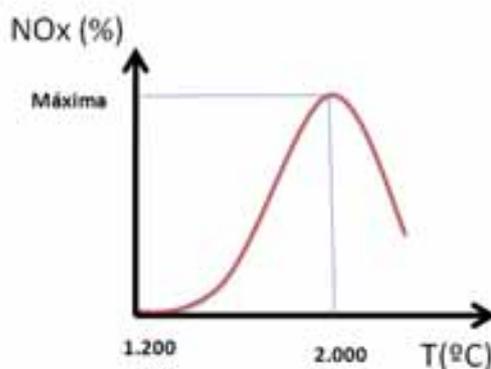
Aparecen como subproducto de la reacción del nitrógeno (N₂) existente en el aire comburente, o el contenido en el propio combustible, con el **oxígeno** a alta temperatura de la llama para formar, bien NO, que es una molécula altamente inestable en el aire ya que se oxida rápidamente en presencia de oxígeno convirtiéndose en dióxido de nitrógeno NO₂ (éste ayuda a la destrucción de la capa de ozono y es un gas venenoso²), o bien directamente NO₂.

Los óxidos de nitrógeno ya formados y disueltos en los humos pueden combinarse con el vapor de agua en la atmósfera, convirtiéndose en ácido nítrico (HNO₃).

Este ácido nítrico en la atmósfera puede precipitar, constituyendo la conocida y perjudicial lluvia ácida.

Los factores que influyen en la formación de NO_x son los siguientes:

- La temperatura de la llama: hasta aproximadamente 1.000 °C, el porcentaje de formación de NO_x es bajo pero, a partir de 1.300 °C, éste aumenta progresivamente.

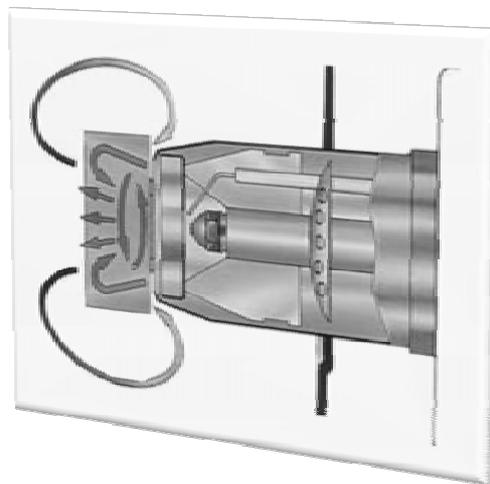


² La exposición a corto plazo en altos niveles causa daños en las células pulmonares, mientras que la exposición a más largo plazo en niveles bajos de dióxido de nitrógeno puede causar cambios irreversibles en el tejido pulmonar. Límites razonables son 3 ppm durante 8 horas y 5 ppm durante 15 min (UNE 100011-91 *La ventilación para una calidad aceptable del aire en la climatización de los locales*).

- El tiempo de permanencia de los gases de combustión en zonas de reacción de altas temperaturas: cuanto menor sea el tiempo de permanencia, menos NO_x se formará.
- La presión parcial del oxígeno o la proporción de oxígeno en la zona de reacción: menor formación de NO_x cuanto menor sea el contenido de oxígeno.

Las diferentes soluciones que se han propuesto para reducir estas emisiones tratan de disminuir las temperaturas de llama a través de bajas cargas en la cámara de combustión, a la refrigeración de la llama y a la reducción del tiempo de permanencia de los gases de combustión en zonas de temperaturas altas intentando, evidentemente, no afectar negativamente al rendimiento de la combustión.

Muchos fabricantes de quemadores ofrecen una solución en la que parte de los productos de la combustión sean recirculados y llevados al cabezal del quemador. Esta recirculación provoca, por un lado, una evaporación previa del combustible antes de la combustión, y, por otro, una **reducción de la temperatura** de llama limitando la formación de óxidos de nitrógeno (NO_x).



La normativa técnica aplicable a calderas (**UNE EN 483**. *Calderas de calefacción central que utilizan combustibles gaseosos. Calderas de tipo C cuyo consumo calorífico nominal es inferior o igual a 70 kW* y **UNE EN 297**. *Calderas de calefacción que utilizan combustibles gaseosos. Calderas de tipo B equipadas con quemadores atmosféricos cuyo consumo calorífico nominal es igual o inferior a 70 kW*), clasifica las mismas en 5 clases en función de las emisiones de NO_x.

CLASE DE NO _x	Concentración límite de NO _x (mg/kWh)
1	260
2	200
3	150
4	100
5	70

El RITE, en su *IT 1.3.4.1.3.1. Evacuación de los productos de la combustión* prescribe que en las instalaciones térmicas de **edificios existentes**, cuando se instalen **calderas individuales de gas con emisión por fachada**, deberán tener unas emisiones de **NOx de clase 5**.

Las **calderas de condensación** consiguen unos niveles muy bajos de emisiones de NO_x dado que permiten combustiones con menores excesos de aire (quemadores premezcla) y un diseño tanto en materiales como en arquitectura que permite una llama de baja temperatura (recirculación de los productos de combustión).

Anexo 2. Justificación de las calderas de condensación en Madrid

A continuación se analizan, para las condiciones climáticas de Madrid, las posibilidades de condensación trabajando con regulación en función de las condiciones exteriores para los supuestos de temperaturas de impulsión de 60 °C, 70 °C y 90 °C.

Se toma una temperatura interior (T_a) de 21°C, mínimo admitido por la **IT 1.1.4.1.2** para personas con actividad metabólica sedentaria de 1,2 met, con grado de vestimenta 1 clo en invierno y un PPD entre el 10 y el 15%.

Las condiciones exteriores se han tomado de los archivos meteorológicos del programa reconocido LIDER para evaluar la limitación de la demanda energética de los edificios, utilizando la temperatura exterior de diseño $T_{ext_D} = -0,8$ °C.

Las horas de calefacción se han considerado durante los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, octubre, noviembre y diciembre, y siempre y cuando la temperatura exterior esté por debajo de 15 °C. En total 4.791 horas.

Las temperaturas de rocío de los combustibles se han considerado $T_{r_Gas\ natural} = 55,8$ °C para el gas natural y $T_{r_Gas\ óleo} = 44,4$ °C para el gasóleo C.

Para cada uno de los supuestos de temperatura se han representado dos gráficos.

En las curvas de calefacción que se muestran a continuación, cuando las líneas horizontales verde y azul (temperaturas de rocío del gas natural y del gasóleo C, respectivamente) corten a la línea morada, indica la temperatura exterior por encima de la cual la caldera puede condensar.

Bajo estas curvas, también se muestran unos gráficos donde se indica qué porcentaje de horas la temperatura exterior es inferior a un valor. Con ellos puede determinarse el porcentaje de horas sobre el periodo de calefacción (4.791 horas) durante el cual la caldera podrá trabajar en régimen de condensación.

MET

Unidad de medida del índice metabólico; se define como la cantidad de calor emitido por una persona en posición de sentado por metro cuadrado de piel. Equivale (en unidades SI):

$$1 \text{ met} \approx 58,2 \text{ W/m}^2$$

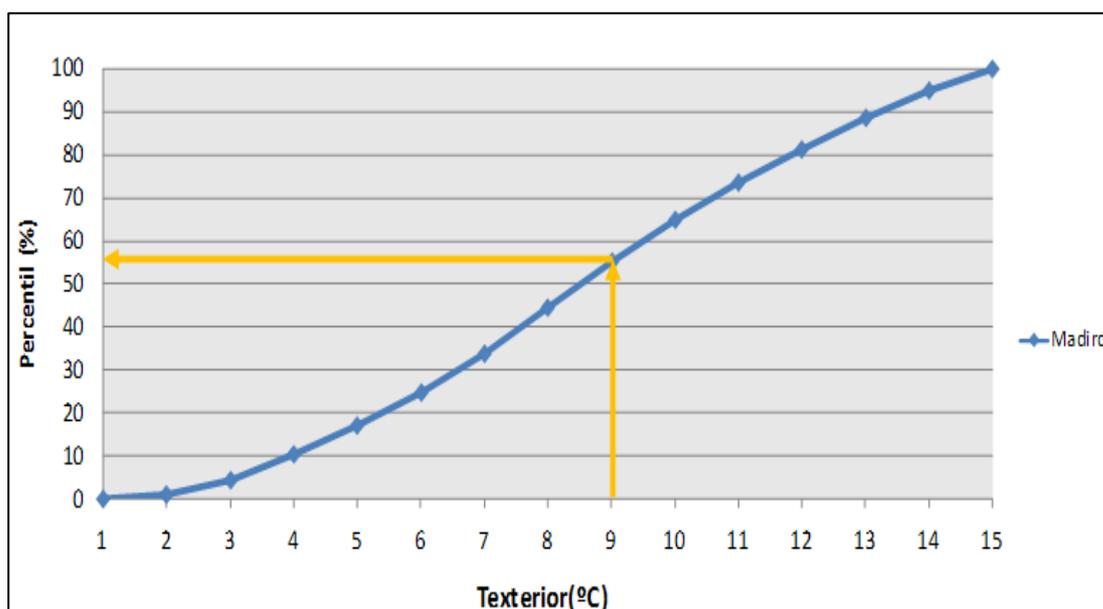
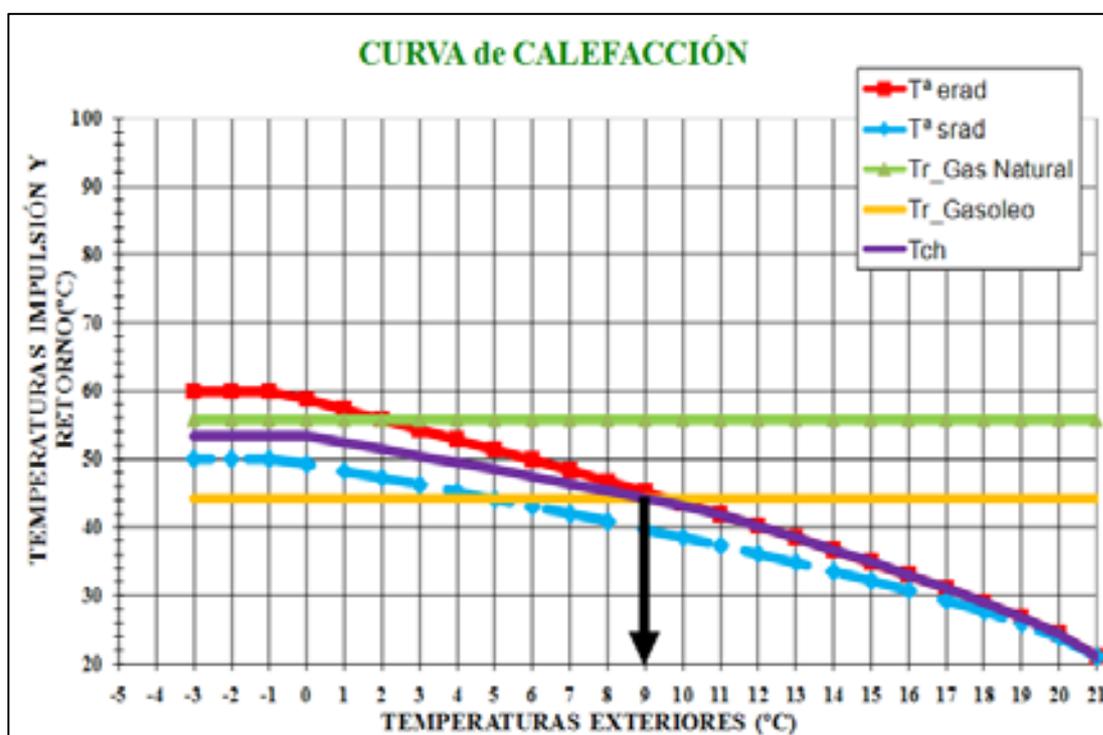
CLO

Unidad de medida empleada para el índice de vestimenta, que se define como el aislamiento térmico necesario para mantener a una temperatura estable y cómoda a la piel durante 8 horas, cuando una persona está en reposo a una temperatura de 20 °C, con una humedad relativa del 50% y sin influencia de la radiación solar. Equivale (en unidades SI):

$$1 \text{ clo} \approx 0,155 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

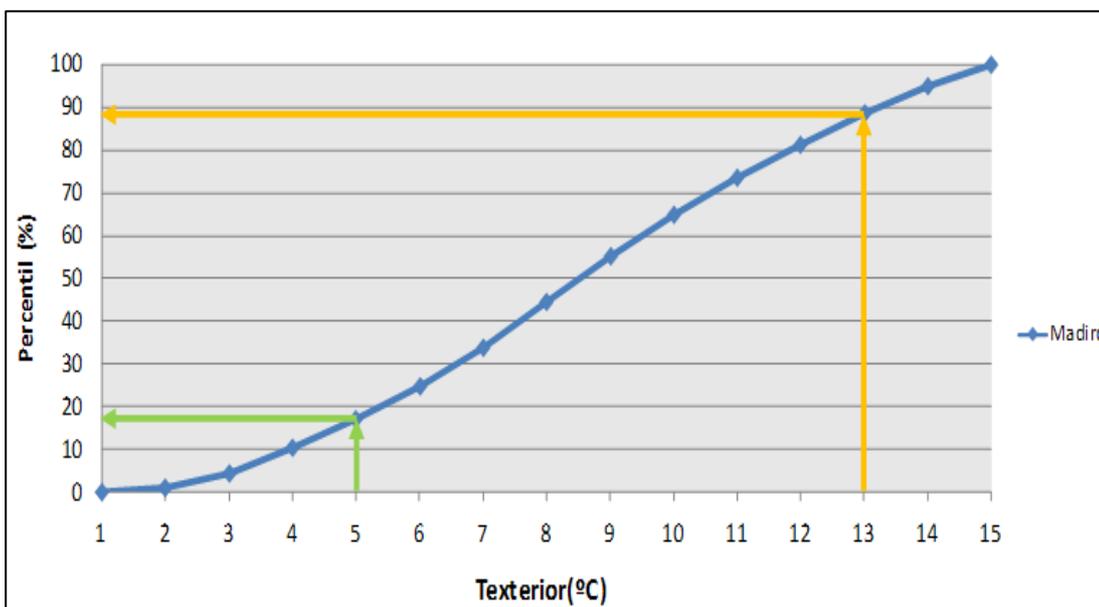
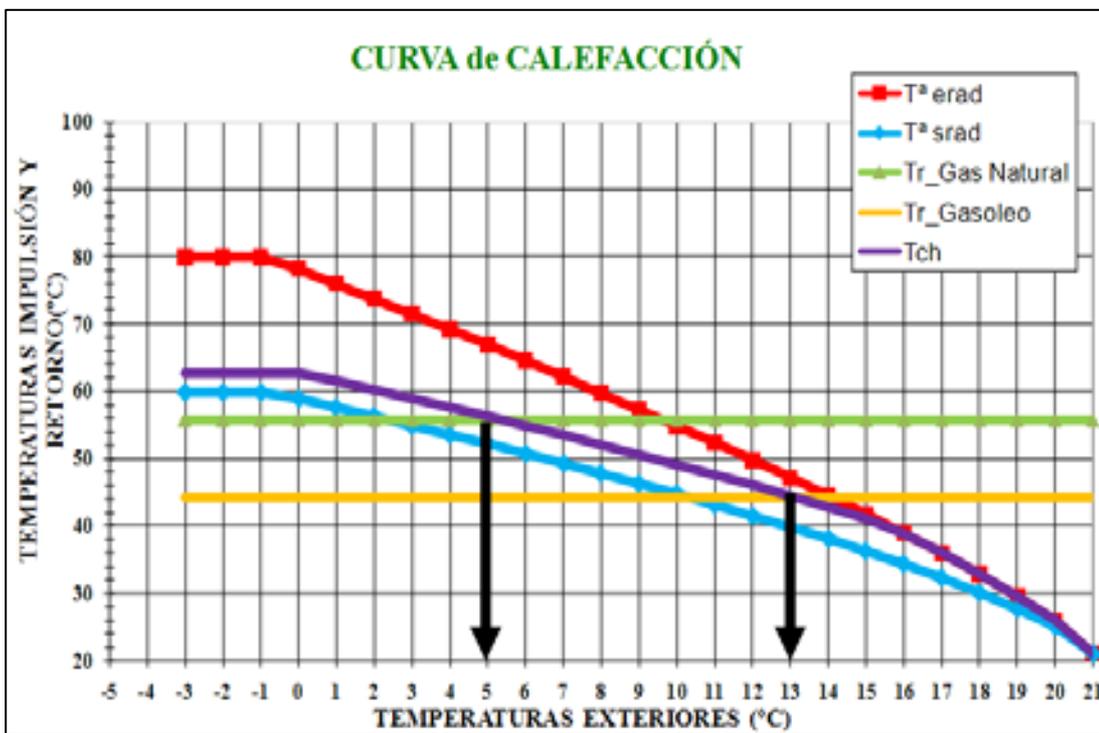
Temperatura de impulsión 60 °C: Madrid

Horas de calefacción	Gas natural		Gasóleo C	
4.791	Horas con posibilidades de condensación		Horas con posibilidades de condensación	
	4.791 h	100%	2.156 h	45%



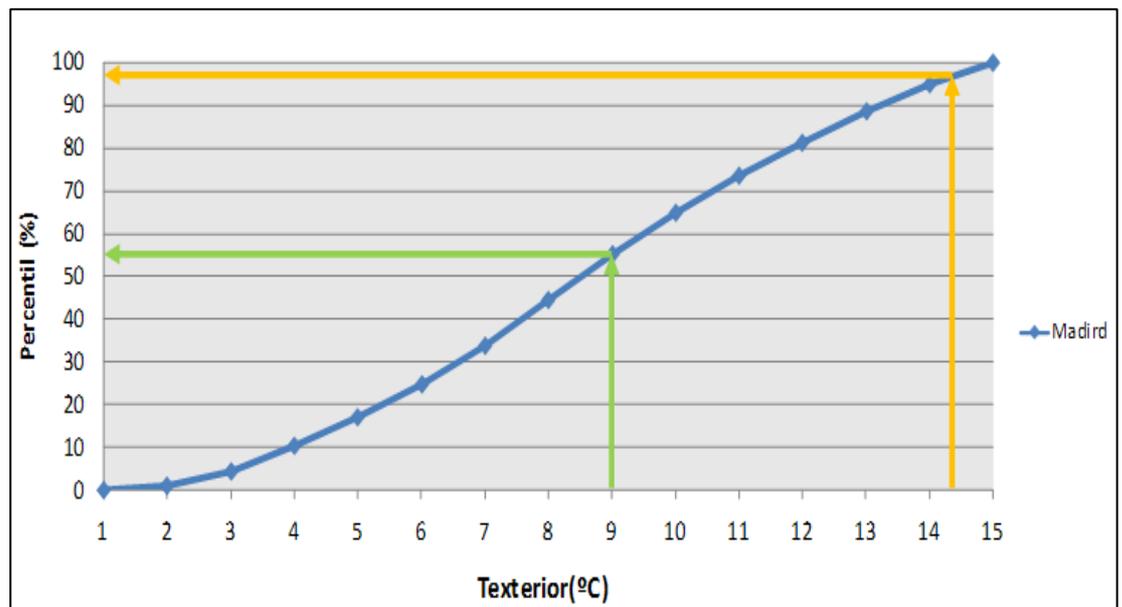
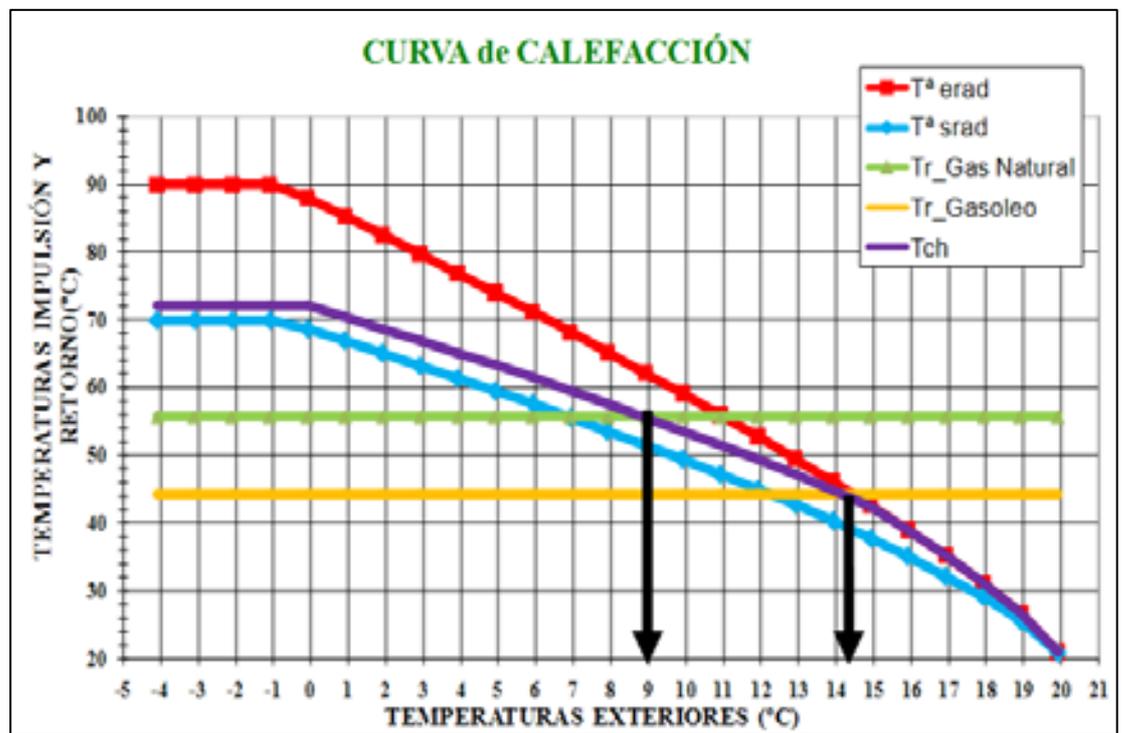
Temperatura de impulsión 80 °C: Madrid

Horas de calefacción	Gas natural		Gasóleo C	
4.791	Horas con posibilidades de condensación		Horas con posibilidades de condensación	
	3.929 h	82%	575 h	12%



Temperatura de impulsión 90 °C: Madrid

Horas de calefacción	Gas natural		Gasóleo C	
4.791	Horas con posibilidades de condensación		Horas con posibilidades de condensación	
	2.156 h	45%	144 h	3%

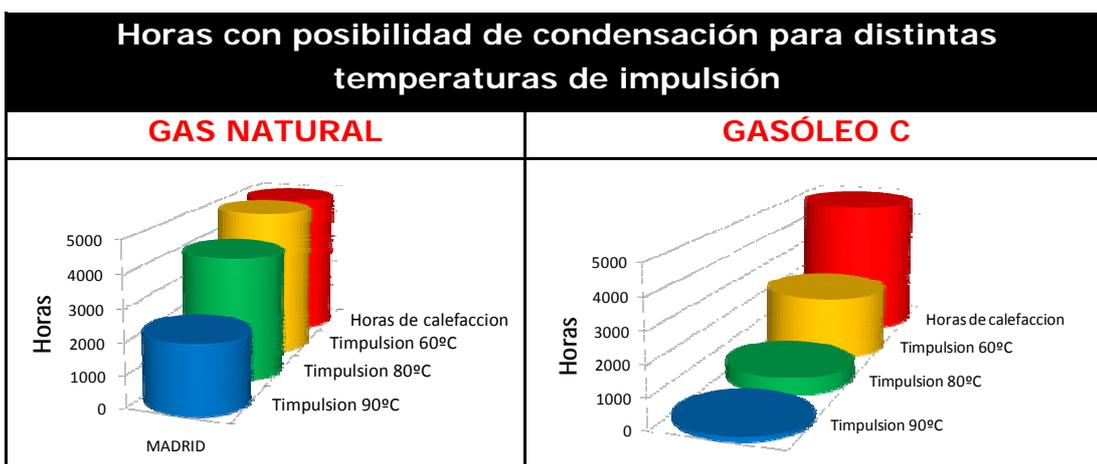


Resultados

Queda suficientemente justificado, a la vista de los anteriores apartados, que el número de horas que la caldera puede entrar en régimen de condensación es muy elevado, siendo fundamental para conseguir un mayor aprovechamiento la elección del tipo de combustible y las condiciones de diseño de la instalación.

En todos los casos, el número de horas con posibilidad de condensación es superior para el gas natural que para el gasóleo C.

Además, siempre es mejor trabajar con temperaturas de retorno bajas, para así obligar a los gases de la combustión a llegar a puntos de condensación y liberar esa energía extra.



Hay que recordar que una de las mayores pérdidas energéticas que tienen las calderas son las pérdidas de calor sensible por los humos (q_{hs}) que son directamente proporcionales a la temperatura de éstos, luego, si la condensación reduce la temperatura de los humos, está también reduciendo de manera muy notoria estas pérdidas, incrementando el rendimiento estacional de las calderas.

Anexo 3. Características de los combustibles

COMBUSTIBLE	Hi	Hs	RD 61/2006 (Hi mínimo)	RD 61/2006 (Hs mínimo)	DIFERENCIA
	kWh/kg	kWh/kg	kWh/kg	kWh/kg	kWh/kg
GAS NATURAL	13,05	14,43	-	-	1,38
PROPANO	12,82	13,92	12,56	13,84	1,10
BUTANO	12,69	13,74	12,44	13,72	1,06
GASÓLEO C	11,56	12,23	-	-	0,66

COMBUSTIBLE	PODER COMBURÍVORO		PODER FUMÍGENO HÚMEDO		PODER FUMÍGENO SECO	
	Nm ³ Aire/ kWh _{Hi}	Nm ³ Aire/ kWh _{Hs}	Nm ³ Hu- mos/ kWh _{Hi}	Nm ³ Humos/ kWh _{Hs}	Nm ³ Humos/ kWh _{Hi}	Nm ³ Humos/ kWh _{Hs}
GAS NATURAL	0,96	0,87	1,06	0,96	0,86	0,78
PROPANO	0,94	0,87	1,02	0,94	0,86	0,80
BUTANO	0,94	0,87	1,02	0,94	0,87	0,80
GASÓLEO C	0,92	0,87	0,98	0,92	0,87	0,82

COMBUSTIBLE	DIÓXIDO DE CARBONO		AGUA		DIÓXIDO DE AZUFRE		
	gCO ₂ / kWh _{Hi}	gCO ₂ / kWh _{Hs}	gH ₂ O/ kWh _{Hi}	gH ₂ O/ kWh _{Hs}	gSO ₂ / kWh _{Hi}	ppm ¹	gSO ₂ / kWh _{Hs}
GAS NATURAL	204	185	156	141	-	-	-
PROPANO	234	215	127	117	-	-	-
BUTANO	239	220	123	113	-	-	-
GASÓLEO C ²	275	260	87	82	0,173	70	0,163

¹ ppm[=]cm³SO₂/m³ humos secos. Recuérdese que ppm = ppm_{medido}*21/(21-O₂ medido). En el analizador de gases se le llama ppm_{corregido}, es decir, ppm_{corregido} = ppm

² RD 287/2001 Contenido de azufre en peso no superior al 0,1%.

Anexo 4. Preguntas frecuentes

- 1. ¿Puedo utilizar una caldera de condensación con la instalación de radiadores que tengo actualmente en mi casa?**

Sí, perfectamente.

- 2. ¿Con que otro nombre se conocen las calderas de condensación?**

Calderas de muy bajo consumo y respetuosas con el medio ambiente.

- 3. ¿Es necesario hacer mucha obra para el desagüe de los condensados?**

No, los condensados pueden conducirse al punto de desagüe más cercano, siempre que sea de tipo plástico.

- 4. ¿Son muy caras las calderas de condensación?**

La diferencia de precio con una de tipo estándar, se amortiza en poco tiempo con los ahorros obtenido en el consumo.

- 5. ¿Requieren mucho mantenimiento?**

No, incluso algunas son autolimpiantes. Sin embargo, según el RITE es obligatorio un mantenimiento anual, por lo que es muy conveniente tener un contrato de mantenimiento, tanto por seguridad como por eficiencia energética.

- 6. ¿Cuales son las principales ventajas de las calderas de condensación respecto a las calderas estándar?**

Principalmente, el ahorro de combustible y una reducción importante de las emisiones contaminantes.

- 7. ¿Dónde puedo informarme de los diferentes modelos de calderas de condensación que hay en el mercado?**

En la página web del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía www.idae.es se puede consultar la base de datos de calderas eficientes.

8. ¿Cuáles son las diferencias de funcionamiento entre una caldera convencional y una caldera de condensación?

	Caldera estándar	Caldera de condensación
Calefacción	Se eleva la temperatura del agua hasta alcanzarse la de régimen, que oscila entre 75 y 80 °C, quedando la regulación en manos del termostato ambiente.	La caldera permite la disminución de la temperatura del agua, en función de la demanda real instantánea de la instalación y la temperatura exterior.
	Durante las horas en que la caldera se encuentra en disposición de servicio, permanece a una temperatura aproximada de 75 °C.	No requiere tener una temperatura mínima de retorno. Este hecho permite reducir de forma significativa las pérdidas por radiación y convección.
	Las pérdidas por radiación y convección serán mayores o menores (según ubicación interior o exterior) pero constantes durante todas las horas del periodo de calefacción.	Hay que tener en cuenta las características constructivas de la caldera, que permiten trabajar a una temperatura de humos de hasta 10 °C sobre la temperatura de retorno, lo que permite reducir las pérdidas por humos.
	Las pérdidas por humos serán altas, tanto sensibles como latentes ya que éstos saldrán a una temperatura constante.	El calor de los humos se aprovecha en la propia caldera, que de otra forma se desperdiciaría.
	Cuando el factor de carga es bajo, se interrumpe el funcionamiento continuado del quemador, provocándose frecuentes encendidos y apagados del mismo.	Se reducen los prebarridos y, por tanto, gastos innecesarios.
	Debido a los prebarridos anteriores al encendido, se introduce aire a temperatura exterior en el hogar de la caldera, robándose calor al agua.	

	Caldera estándar	Caldera de condensación
A.C.S.	La caldera permanece a temperatura de régimen cada vez que se demande A.C.S, con una disponibilidad de servicio plena durante todo el año.	La caldera permite la disminución de la temperatura del agua, en función de la demanda real instantánea de la instalación y la temperatura exterior.
	Las pérdidas por radiación y convección serán continuas durante todas las horas de demanda.	A diferencia de las calderas estándar, las de condensación incorporan sistemas de regulación de la temperatura del ACS, lo que supone una reducción de los prearridos al mantenerse en funcionamiento durante más tiempo el quemador.
	Durante el funcionamiento del quemador, las pérdidas por humos serán similares a las de calefacción, aunque las horas de funcionamiento son menos numerosas.	



Fundación de la Energía
de la Comunidad de Madrid

Energy Management Agency

Intelligent Energy  Europe

www.fenercom.com



Asociación Técnica
Española de
Climatización
y Refrigeración

