

■ GUÍA SOBRE

INSTALACIONES CENTRALIZADAS DE CALEFACCIÓN, REFRIGERACIÓN Y ACS



Fundación
de la
Energía

Guía sobre instalaciones centralizadas de calefacción, refrigeración y ACS (2022)

Puede descargar esta y otras guías técnicas desde la sección de 'Publicaciones' de la página web de la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid: www.fenercom.com

Sobre la Fundación de la Energía

La Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid es una entidad pública sin ánimo de lucro, adscrita a la Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Agricultura de la Comunidad de Madrid, que tiene como propósito contribuir al desarrollo de la política energética regional, fomentando la óptima gestión de los recursos energéticos, el uso racional de la energía, el ahorro y la eficiencia energética.

El fin de la Fundación es fomentar e impulsar iniciativas que promuevan el conocimiento, desarrollo y aplicación de las tecnologías energéticas más eficientes, limpias y sostenibles, poniendo el foco principalmente sobre las energías renovables.

La Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, respetuosa con la libertad intelectual de sus colaboradores, reproduce los originales que se le entregan, pero no se identifica necesariamente con las ideas y opiniones que en ellos se exponen y, por tanto, no asume responsabilidad alguna de la información contenida en esta publicación.

La Fundación de la Energía no se hacen responsables de las opiniones, imágenes, textos y trabajos de los autores de esta guía.

Editado en Madrid, a junio de 2022.



Fundación
de la
Energía

■ ÍNDICE

Instalaciones centralizadas de calefacción, refrigeración y ACS

1	Tipología de instalaciones	9
2	Contadores de agua y energía	27
3	Equipos de producción	39
	3.1. Calefacción y ACS	40
	3.2. Calefacción, refrigeración y ACS	48
	3.3. Energías renovables. Solar térmica	58
	3.4. Energías renovables. Geotermia	73
	3.5. Energías renovables. Biomasa	84
4	Equipos hidráulicos	93
5	Estaciones de descentralización	103
6	Emisores térmicos	119
	6.1. Radiadores	120
	6.2. Superficies radiantes	137
	6.3. Fancoils	149
7	Regulación y control de las instalaciones	155
8	Mantenimiento de instalaciones	163

■ AUTORES

1 Tipología de instalaciones

Tomás Gomez

Departamento técnico. AGREMIA
agremia.com

2 Contadores de agua y energía

Ignacio Abati

Director General. ISTA
ista.com/es

3 Equipos de producción

3.1. Calefacción y ACS

Alberto Jiménez

Jefe Departamento Técnico, Formación y Soporte. BAXI-BDR THERMEA GROUP
baxi.es

3.2. Calefacción, refrigeración y ACS

Manuel Rabanal

Departamento Heating. DAIKIN
daikin.es

3.3. Energías Renovables. Solar térmica

Manuel Ruiz

Sales Spain Training (TT/SSP-TR). BOSCH
grupo-bosch.es

3.4. Energías Renovables. Geotermia

Luis de Pereda Fernández

Arquitecto. Director de Consultoría y Proyectos

Rafael Tejedor López

Ingeniero de Minas. Responsable de Sistemas Renovables.
ENERES Sistemas Energéticos Sostenibles
eneres.es

3.5. Energías Renovables. Biomasa

Mónica Poyatos

Gestión de calidad. CALORDOM
calordom.com

4 Equipos hidráulicos

Christian Keller

Director Técnico. WILO IBÉRICA

wilo.com

5 Estaciones de descentralización

Israel Ortega

Director de Formación y Servicios Técnicos Iberia. UPONOR

uponor.com/es

6 Emisores térmicos

6.1 Radiadores

Aurelio Lanchas

Jefe Producto Calefacción. FERROLI

ferroli.com/es

6.2 Superficies radiantes

Israel Ortega

Director de Formación y Servicios Técnicos Iberia. UPONOR

uponor.com/es

6.3 Fancoils

Manuel Rabanal

Departamento Heating. DAIKIN

daikin.es

7 Regulación y control de las instalaciones

Israel Ortega

Director de Formación y Servicios Técnicos Iberia. UPONOR

uponor.com/es

8 Mantenimiento de instalaciones

Ramón Martín

Director Técnico. ULLASTRES GDI

ullastres.com/

■ CAPÍTULO 1

TIPOLOGÍA DE LAS INSTALACIONES —



1 CONCEPTOS GENERALES Y DEFINICIONES

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, denominado de forma abreviada como RITE, establece las exigencias de bienestar térmico, de eficiencia energética y seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas de los edificios destinadas a atender la demanda de bienestar e higiene de las personas, durante su diseño y dimensionado, ejecución, mantenimiento y uso, así como determinar los procedimientos que permitan acreditar su cumplimiento.

El RITE define como **instalaciones térmicas** las instalaciones fijas de climatización (calefacción, refrigeración y ventilación) y de producción de agua caliente sanitaria.

Una instalación térmica, que también puede denominarse como “**sistema térmico**”, está compuesta, como norma general, de las siguientes partes principales:

- A. Circuito de producción térmica:** es la parte de la instalación térmica encargada de la generación térmica (entendiendo ésta como producción de calor y/o refrigeración), para la que precisará de la utilización de una fuente de energía primaria (combustibles fósiles, electricidad, biomasa, energía solar térmica, etc.).
- B. Circuito de distribución térmica:** representa la parte de la instalación encargada de conducir el calor generado en el circuito de producción hasta los elementos encargados de emitir el calor al ambiente de los locales, o bien, hasta el punto de intercambio del sistema de agua caliente sanitaria (ACS) de consumo.

Dentro del circuito de distribución se incluyen los sistemas de circulación, regulación y control del fluido calorportador, los elementos de seguridad, de medición y de regulación y control.
- C. Circuito de emisión térmica:** encargado de intercambiar el calor recibido del circuito de distribución con el aire ambiente del local a climatizar, o con el circuito secundario de utilización del agua caliente sanitaria.
- D. Circuito de alimentación eléctrica para el accionamiento y/o control:** que permite aportar la alimentación eléctrica de aquellos equipos que funcionan con alimentación eléctrica, y para el control y regulación de los equipos que componen la instalación térmica.

Estos circuitos están interconectados entre sí para permitir el correcto funcionamiento del sistema, que permitirá mantener dentro de los locales climatizados unas adecuadas condiciones de confort, la mayor eficiencia energética que permitan sus componentes y unas adecuadas condiciones de seguridad.

Teniendo en cuenta la composición constructiva del sistema que forma la instalación térmica, podemos encontrarnos dos tipos de sistemas:

- A. Sistemas directos:** la producción térmica y la emisión se realizan dentro de un equipo compacto, o bien, mediante un único circuito, careciendo de circuito de distribución de calor. En estos sistemas es necesario que el circuito de emisión tenga contacto térmico con el ambiente de los locales a climatizar.
- B. Sistemas indirectos:** la producción térmica está centralizada y existe un circuito de distribución del fluido calorportador hasta los elementos de emisión.

2 MÉTODOS DE CLASIFICACIÓN DE LAS INSTALACIONES TÉRMICAS

La tipología de las instalaciones térmicas es muy variada, siendo posible su clasificación atendiendo a distintos criterios, de entre los que podemos destacar los siguientes:

- I. Atendiendo al servicio** de proporcionan, se pueden clasificar en tres tipos generales:
 - a.** Instalaciones de **calefacción**, cuyo objetivo es obtener unas adecuadas condiciones de confort dentro de los locales en periodo de invierno. Generalmente, se trata de un control térmico exclusivamente, aunque también podrían controlarse las condiciones de humedad.
 - b.** Instalaciones para **producción de agua caliente sanitaria**, cuyo objetivo es garantizar unas condiciones adecuadas en cobertura, caudal y presión en los servicios que requieren de agua caliente sanitaria dentro de la instalación térmica.
 - c.** Instalaciones de **climatización**, cuyo fin es conseguir dentro de los locales que componen el edificio unas condiciones adecuadas en época de verano (instalaciones solo frío), o bien, todo el año (instalaciones de tipo bomba de calor). En el primer caso, la instalación estará complementada con una instalación de calefacción.

Los servicios indicados pueden funcionar de forma independiente, aunque lo más habitual es que se encuentren integrados de manera conjunta dentro de las instalaciones térmicas de los edificios.

- II. Atendiendo a su cobertura**, entendida ésta como el número de usuarios a que da servicio, existen tres tipos:
 - a. Equipos unitarios**, que dan servicio a un solo local del edificio, o incluso, a una parte de éste. Los equipos unitarios son sistemas directos.

- b. **Instalaciones individuales**, que dan servicio a un único usuario dentro de la edificación. Las instalaciones individuales pueden estar realizadas mediante sistemas directos o indirectos.

En aquellos edificios propiedad de un solo usuario, la instalación será siempre individual.

- c. **Instalaciones colectivas**, que dan servicio a la totalidad de los usuarios de la edificación o, al menos, a varios usuarios dentro del edificio. Generalmente, en estas instalaciones la producción térmica está centralizada con sistema de distribución indirecto.

III. Atendiendo al **tipo de fuente de energía** que utiliza, existen dos grupos generales:

- a. Instalaciones que utilizan fuentes de **energía convencional**, siendo las fuentes más habituales:

- Carbón.
- Gasóleo.
- Gases licuados del petróleo (GLP).
- Gas natural.

- b. Instalaciones que utilizan fuentes de **energía renovable**. Entre las fuentes de energía renovable utilizadas en la actualidad, destacan las siguientes:

- **Energía solar térmica**, que permite el aprovechamiento de la energía térmica que proviene del Sol (se trata de una energía renovable, de libre disposición y gratuita) para su utilización en los servicios de producción de agua caliente sanitaria, calentamiento de piscinas y, en algunos casos, incluso para el servicio de calefacción.
- **Biomasa**, donde la generación de calor utiliza como combustible materias residuales de origen vegetal (pelets, hueso de aceituna, etc.). Se utiliza principalmente para su aplicación en instalaciones de calefacción y producción de agua caliente sanitaria.
- **Geotermia**, que utiliza el calor contenido en el terreno para la producción de energía térmica (frío y/o calor), por medio de un sistema de bomba de calor geotérmica, para su utilización en la climatización de los edificios.

3 INSTALACIONES CENTRALIZADAS

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios define como **instalación centralizada** aquella en las que la producción de calor es única en todo el edificio, realizándose su distribución desde la central generadora a las correspondientes viviendas o locales por medio de fluidos térmicos.

De acuerdo con esta expresión, existirán dos tipos de instalaciones centralizadas en los edificios:

- A. Instalaciones **centralizadas individuales**, para aquellos edificios de un solo titular.

- B. Instalaciones **centralizadas colectivas**, para edificios que tengan varios titulares.

4 TIPOLOGÍA DE LAS INSTALACIONES CENTRALIZADAS

Entre las instalaciones térmicas centralizadas de uso más habitual en los edificios se encuentran las siguientes:

- A. Instalación para **servicio de calefacción**.
- B. Instalación para **servicio de agua caliente sanitaria**.
- C. Instalación para **servicio de climatización**.

4.1 Instalación para servicio de calefacción.

La instalación de calefacción más característica en los edificios corresponde a una instalación de producción centralizada con distribución mediante agua caliente y emisores térmicos de diferentes tipos, en función del uso de los edificios, aunque predominando los emisores estáticos (sin circulación de aire forzado).

Son sistemas hidráulicos cerrados donde la producción térmica puede estar compuesta por varios generadores de calor, y la distribución y emisión puede estar dividida en varias zonas, de acuerdo con las características del edificio.

4.1.1 Descripción general de componentes de la instalación de calefacción.

Las instalaciones de calefacción de producción centralizada se componen de cinco componentes principales:

I. Generador de calor.

El **generador de calor** es el componente de la instalación encargado de producir la energía térmica que necesita el sistema, utilizando energía primaria procedente de un combustible o energía eléctrica.

En las instalaciones centralizadas los generadores de calor pueden ser de dos tipos:

- a. Generador de calor **por combustión**, que aprovecha el poder calorífico de una sustancia combustible (pueden ser combustibles gaseosos, líquidos o sólidos, dentro de los que se encuentra la biomasa) y, por medio de un proceso de combustión, genera calor y transmite éste a través de un intercambiador térmico, cediéndolo al fluido circulante, que habitualmente es agua.

Este sistema es el sistema tradicional y el de uso más extendido.



Figura 1.1 Generador de calor.

- b. **Bomba de calor**, que está formada por un ciclo frigorífico reversible que se alimenta con energía eléctrica y que es capaz de producir agua caliente en el intercambiador interior, que funcionaría como condensador del sistema frigorífico en el ciclo de producción de energía térmica calorífica.

Este sistema, de utilización más reciente, es la alternativa del sistema anterior. Aunque actualmente su utilización es más reducida, su crecimiento es constante, ya que tiene la ventaja de permitir la producción térmica frigorífica en época estival.

El generador de calor por combustión está formado por dos componentes principales:

- a. **Quemador**, que es el dispositivo que se alimenta con el combustible y que produce las condiciones adecuadas para el desarrollo de la combustión.
- b. **Caldera**, compuesta por un hogar o cámara donde se produce físicamente la llama de la combustión. Está compuesta por un intercambiador de calor que rodea el hogar y el circuito de humos y a través del que circula el agua que se calienta por la radiación de la llama y al estar en contacto térmico con los productos de la combustión.

Los productos generados en el proceso de combustión, una vez aprovechado su potencial térmico en la caldera, deberán ser evacuados al exterior a través del conducto de evacuación de los productos de la combustión (denominado “chimenea”), inherente al generador de calor, y que deberá ser adecuado al caudal y a las características de los productos de evacuación producidos en el proceso.

Para su funcionamiento, el generador de calor requiere de alimentación eléctrica de fuerza y maniobra y podrá estar también integrado dentro del sistema de control de la instalación.

En las instalaciones centrales de calefacción es habitual que exista más de un generador de calor, debido a los propios requisitos reglamentarios (la normativa vigente establece que para potencias mayores de 400 kW, existirá un mínimo de dos generadores de calor), o bien para obtener unas condiciones de funcionamiento que produzcan una mejora del rendimiento estacional de la instalación.

II. Sistema de distribución.

El **sistema de distribución** es el conjunto de componentes que permiten la circulación del agua caliente entre el generador de calor y los emisores.

Dentro del sistema de distribución destacamos, por su importancia, los siguientes componentes principales:

- a. **Red de distribución**, que es el conjunto de tuberías que permiten la circulación hidráulica entre el generador de calor y los emisores térmicos.
- b. **Aislamiento térmico**, que impide las pérdidas de calor a través de las paredes de las tuberías y otros elementos componentes del sistema de distribución.
- c. **Sistema de bombeo**, compuesto por el conjunto de bombas hidráulicas que producen la circulación del agua a través de la red hidráulica, comunicando entre sí generador de calor y emisores térmicos. El sistema de bombeo incluye las bombas de funcionamiento y las de reserva, si existen.
- d. **Dispositivo de expansión**, que dispone de una cámara con un fluido en estado gaseoso que está comunicada con el circuito hidráulico a través de una membrana impermeable y flexible. Tiene la función de atenuar el aumento de la presión en el circuito cuando aumenta la temperatura del mismo, debido al calentamiento del agua.
- e. **Válvula de seguridad**, cuya misión es la evacuación del fluido interior de forma controlada, cuando se produce un aumento anormal de la presión hidráulica, que vendrá motivada por el funcionamiento defectuoso de algún componente (por ejemplo, el dispositivo de expansión), por el mal estado de algún elemento de la instalación por falta de mantenimiento, o bien por alguna manipulación errónea de los componentes de la instalación.

La descarga de la válvula de seguridad deberá estar conducida hacia la red de desagüe, pero la descarga deberá ser visible en algún punto para verificar visualmente la existencia del vertido.

f. **Elementos de medida**, que permiten controlar el funcionamiento de la instalación y de sus componentes principales, así como registrar los consumos energéticos e hidráulicos de la instalación térmica. Dentro de los elementos de medida de los circuitos de distribución de las instalaciones de calefacción podemos distinguir:

- **Termómetros**, que permiten la medición de la temperatura del agua del punto donde están instalados.
- **Manómetros**, que permiten medir la presión hidráulica existente en el punto de instalación.
- **Contadores de energía térmica**, que permiten la contabilización de la energía térmica del circuito hidráulico donde están conectados, a través de la integración en el tiempo de los productos “caudal \times diferencia de temperatura”.

Para poder realizar la medición de la potencia térmica que, integrada en el tiempo, da como resultado la energía térmica acumulada, el contador de energía debe disponer simultáneamente de los datos: “caudal”, “temperatura de impulsión” y “temperatura de retorno”.

g. **Valvulería**, que permiten el seccionamiento (válvulas de corte), limitan la circulación en un único sentido (válvulas antirretorno), o bien, a través de ellas posibilitan que el programador pueda gobernar el funcionamiento de la instalación (válvulas automáticas con mando a través de actuador eléctrico, normalmente de tres vías).

III. Emisores térmicos.

El **sistema de emisión de calor**, denominado **emisor**, es el encargado de transmitir la energía térmica que recibe a través del agua caliente hasta el aire ambiente de los locales, que realiza por convección y radiación.

Los emisores (llamados habitualmente radiadores) son elementos metálicos que presentan una gran superficie de intercambio con el aire ambiente de los locales, lo que favorece la emisión térmica.



Figura 1.2 Radiadores de chapa de acero de dos y tres columnas.

Los emisores pueden incorporar los siguientes accesorios:

- a. **Llave de entrada**, que atendiendo a las posibilidades de ajuste y regulación puede ser:
 - De doble reglaje: permiten el ajuste del caudal (al disponer de un tope ajustable de apertura máxima) y además el accionamiento manual de la misma por parte del usuario o en caso de reparación.
 - De simple reglaje: solamente permiten regular el caudal de forma directa sobre el emisor. Pueden ser accionadas por el usuario, abriendo y cerrando el paso de agua a los emisores.

En relación al modo de actuación de la válvula de entrada del emisor, existen dos tipos generales:

- **Llaves manuales**, donde el accionamiento se realiza de forma manual. Solamente permiten el reglaje de la entrada de agua al emisor y el cierre del mismo, para anular el aporte térmico o para aislar el emisor en caso de desmontaje.
 - **Válvulas termostáticas**: son válvulas de accionamiento automático que gobiernan el paso de agua al emisor para conseguir en el local la temperatura seleccionada. Además de obtener el confort térmico, permiten adaptar el aporte de energía al emisor a la carga térmica instantánea, con la consiguiente reducción del consumo de energía.
- b. **Detentor**, que regula la salida de agua del emisor. Este elemento se instala sobre la conexión de retorno del emisor y permite realizar las siguientes operaciones:
 - Cerrar el paso de retorno, para aislar el emisor del circuito hidráulico. Esta posición permite incluso desmontar el emisor sin necesidad de vaciar el circuito hidráulico, siempre que también esté cerrada la llave de entrada.
 - Realizar el reglaje del caudal de agua que circula a través del emisor, para conseguir un adecuado equilibrio de la instalación.
 - c. **Purgador manual o automático**, que permite evacuar las burbujas de aire del circuito hidráulico para conseguir la mayor efectividad posible en la circulación y el intercambio térmico.

En todo caso, en instalaciones antiguas, pueden existir emisores que nos dispongan de llave de corte de entrada y/o detentor de salida.

IV. Circuito de alimentación eléctrica para fuerza y maniobra.

Para la **alimentación eléctrica de fuerza y maniobra**, estas instalaciones requieren de una línea de alimentación eléctrica que, partiendo del suministro de servicios comunes del edificio, o bien de un servicio concreto que pueda existir en el edificio para las instalaciones térmicas, alimenta el cuadro general de alimentación eléctrica y maniobra de la instalación térmica, que estará ubicado en las proximidades de la sala de calderas.

V. Sistema de control.

El **sistema de control** tiene la finalidad de gobernar el funcionamiento de la instalación para garantizar el confort térmico en los locales que componen la instalación y conseguir la mayor eficiencia en el funcionamiento.

Estas instalaciones utilizan un sistema de control “en función de la temperatura exterior”, que adapta la aportación térmica al sistema de distribución según la temperatura exterior existente en cada momento.

El principio de funcionamiento básico de este sistema es el siguiente: cuando *desciende la temperatura exterior, las pérdidas térmicas a través de los cerramientos del edificio aumentan. Para contrarrestar estas pérdidas, se deberá aportar una mayor energía térmica a los locales, que se consigue impulsando el agua a los emisores a mayor temperatura.*

El sistema de control por sonda exterior precisa de los siguientes elementos básicos:

- a. *Sonda [sensor] de temperatura exterior*, que proporciona al programador la información de temperatura ambiente exterior. Esta sonda se instala alojada dentro de una caja protectora y se ubica en la cara más fría del edificio (orientación norte).
- b. *Programador*, que es el aparato que recibe las señales de los sensores de temperatura y que, en base al comportamiento de éstas y a los valores programados para el funcionamiento, gobierna la actuación de los elementos de actuación (cabezales de las válvulas de tres vías).
- c. *Sonda [sensor] de temperatura de impulsión*, que proporciona al programador la información de temperatura de impulsión de agua caliente a los emisores. Esta sonda suele ser de tipo de inmersión y se instala sobre la tubería general de impulsión de circuito hidráulico controlado.
- d. *Actuador de accionamiento eléctrico*, que permite al programador de control gobernar la mezcla de agua caliente procedente del generador con agua más fría procedente del retorno del circuito de calefacción, para conseguir la temperatura de impulsión adecuada a las necesidades térmicas de la instalación, que vendrán determinadas por las condiciones exteriores en cada momento.

El actuador se instala acoplado sobre la válvula mezcladora de tres vías, que va montada sobre el circuito hidráulico de distribución.

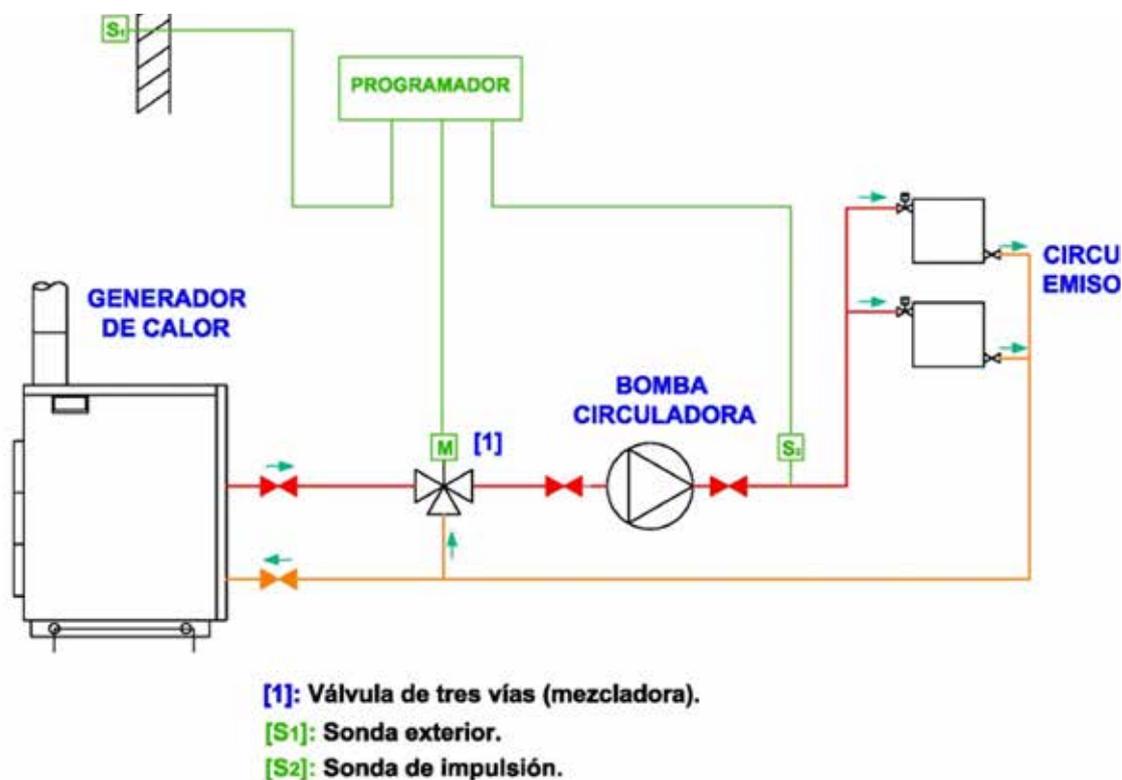


Figura 1.3 Esquema básico de instalación de calefacción centralizada para servicio colectivo.

4.1.2 Esquema básico de la instalación de calefacción con los componentes principales.

4.2 Instalación para servicio de agua caliente sanitaria.

Los sistemas de agua caliente sanitaria de producción centralizada y uso colectivo están compuestos por dos circuitos que solamente tienen comunicación térmica, no existiendo entre ellos comunicación hidráulica:

- A. Circuito de producción:** es un sistema hidráulico cerrado que puede estar integrado con el sistema de calefacción centralizado en instalaciones que dispongan de ambos servicios.
- B. Circuito de utilización:** es un sistema hidráulico abierto que permite el calentamiento de agua de consumo y su almacenamiento, debiendo disponer éste de capacidad suficiente para cubrir los periodos punta de consumo que pueden darse en la instalación.

4.2.1 Descripción general de componentes de la instalación colectiva de agua caliente sanitaria.

El **circuito de producción** de una instalación centralizada de agua caliente sanitaria se compone de cinco elementos principales:

I. Generador de calor.

El generador de calor es el componente de la instalación encargado de aprovechar el poder calorífico de una sustancia combustible (pueden ser combustibles gaseosos, líquidos o sólidos, dentro de los que se encuentra la biomasa) y, por medio de un proceso de combustión, generar calor y transmitir éste a través de un intercambiador térmico, cediéndolo al fluido térmico circulante, que habitualmente es agua.

En instalaciones centralizadas para servicio colectivo de calefacción y agua caliente sanitaria, los generadores de calor pueden estar integrados y cubrir ambos servicios. En este caso, el servicio que tiene la prioridad de funcionamiento es agua caliente sanitaria.

II. Sistema de distribución.

El sistema de distribución es el conjunto de componentes que permiten la circulación del agua caliente entre el generador de calor y el intercambiador térmico.

El sistema de distribución y sus componentes son muy similares a los ya descritos para el servicio de calefacción, por lo que no procede repetir su descripción.

III. Intercambiador térmico.

El **intercambiador térmico** es el elemento encargado de transmitir el calor del circuito de producción hacia el circuito

de utilización, que no tienen comunicación hidráulica entre sí. Por tanto, el intercambiador es el elemento separador entre los circuitos de producción y de utilización, estando integrado hidráulicamente sobre ambos circuitos.

El intercambiador térmico dispone de cuatro conexiones hidráulicas, dos para el circuito de producción (también denominado primario) y dos para el circuito de utilización (también denominado secundario).

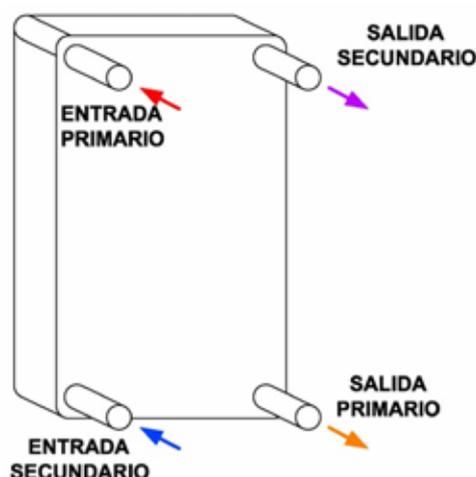


Figura 1.4 – Conexiones hidráulicas de un intercambiador de placas.

Dentro de los intercambiadores térmicos, destacan dos tipos generales:

- a. **Intercambiador externo**, que se instala en el exterior del depósito acumulador, comunicado con éste a través del circuito hidráulico.

Desde el punto de vista constructivo, el más utilizado en la actualidad es el intercambiador de placas, ya que presenta una gran superficie de intercambio térmico con unas dimensiones muy reducidas.



Figura 1.5 – Intercambiador de placas.

Este sistema requiere de la utilización de una bomba circuladora adicional para producir la circulación entre el intercambiador térmico y el acumulador.

- b. *Inter-acumulador*, donde el intercambiador térmico va instalado dentro del acumulador de agua caliente sanitaria.

IV. Circuito de alimentación eléctrica para fuerza y maniobra.

El circuito de alimentación eléctrica de fuerza y maniobra permite que los distintos receptores eléctricos que componen la instalación reciban la tensión necesaria para su accionamiento, así como las señales de maniobra necesarias para el correcto y seguro funcionamiento del conjunto.

V. Sistema de control.

El sistema de control del circuito de producción de agua caliente sanitaria centralizada tiene la finalidad de gobernar el funcionamiento de la instalación para garantizar la temperatura adecuada en el depósito acumulador en todo momento, independientemente del consumo instantáneo de la instalación.

Por tanto, el sistema de control será “en función de la temperatura del acumulador de ACS”.

El sistema de control en función de la temperatura existente en el acumulador precisa de los siguientes elementos básicos:

- a. *Sonda [sensor] de temperatura de agua del depósito acumulador*, que proporciona al programador la información de temperatura que tiene el agua caliente sanitaria preparada para el consumo. Esta sonda, generalmente de tipo de “inmersión”, se instala sobre el acumulador, en contacto térmico con el agua de consumo.
- b. *Programador*, que es el aparato que recibe las señales del sensor de temperatura y que, en base al comportamiento de éstas y a los valores programados para el funcionamiento, gobierna la actuación de los elementos de actuación (cabezales de las válvulas de tres vías).
- c. *Actuador de accionamiento eléctrico*, que permite al programador de control actuar sobre la válvula de tres vías, dando paso de circulación de agua a través del intercambiador (el agua del depósito está fría y hay que proceder a su calentamiento), o bien devolviendo el agua caliente al generador de calor (el agua del depósito está caliente y no se precisa calentamiento).

La válvula de tres vías del control del sistema de agua caliente sanitaria, sobre la que va acoplado el cabezal actuador, suele estar instalada como válvula “diversora”, disponiendo en este caso de una entrada (que

proviene del generador de calor) y dos salidas (una para comunicación con la entrada del intercambiador de placas o el inter-acumulador y la otra para la conexión con el retorno del generador de calor).

El circuito de utilización (secundario) de una instalación centralizada de agua caliente sanitaria se compone de cinco elementos principales:

I. Intercambiador de calor (lado secundario).

El intercambiador de calor cede el calor del circuito primario de producción al circuito secundario de utilización, representando la barrera de separación entre ambos circuitos hidráulicos.

II. Acumulador.

El acumulador almacena el agua caliente procedente del intercambiador de calor y permite cubrir con su capacidad aquellas puntas de consumo de agua caliente sanitaria que se producen en determinados periodos del día.



Figura 1.6 Depósito acumulador de agua caliente sanitaria.

Cuando el dispositivo incluye en un mismo conjunto el intercambiador y el acumulador, se denomina **inter-acumulador**, disponiendo en este caso de cuatro conexiones hidráulicas, que permiten la conexión hidráulica de impulsión y retorno de los circuitos primario y secundario.

Además de las distintas tomas que permiten la conexión del circuito hidráulico, el acumulador debe disponer de una boca de registro que permita acceder al interior del depósito para realizar la limpieza y comprobación del estado de la superficie interior (boca de hombre).

III. Sistema de distribución.

El sistema de distribución consiste en un circuito hidráulico abierto que comunica la entrada del agua fría procedente de la red correspondiente y finaliza en los grifos de utilización

del agua caliente, incorporando los elementos característicos de los circuitos hidráulicos abiertos.

En las instalaciones dotadas de intercambiador externo y acumulador, este circuito incluye la bomba de circulación que hace circular el agua entre ambos elementos, que lógicamente no existe cuando el sistema incorpora inter-acumulador.

IV. Válvula mezcladora termostática hidráulica.

La válvula mezcladora termostática hidráulica es el dispositivo encargado de mantener una temperatura de distribución fija en la tubería de impulsión de agua caliente sanitaria, garantizando de esta forma que no se alcance una temperatura muy elevada que podría producir quemaduras a los usuarios.

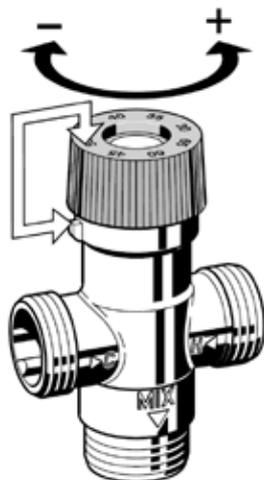


Figura 1.7 Esquema de válvula mezcladora termostática hidráulica.

La obtención de la temperatura adecuada por medio de la válvula se consigue mezclando agua caliente procedente del acumulador con agua fría de la red de entrada.

V. Sistema de retorno.

El sistema de retorno de agua caliente sanitaria permite mantener la temperatura adecuada en el circuito de impulsión de agua incluso en aquellos periodos del día en los que no existe consumo de agua caliente, evitando vertidos de agua fría y reduciendo los tiempos de disponibilidad del servicio.

A través del circuito de retorno se produce el cierre automático y temporal(1) del circuito secundario, que en condiciones normales de funcionamiento es de tipo abierto, lo que permite la circulación de agua en “circuito cerrado” y su calentamiento sin necesidad de realizar consumo de agua caliente ni vertido del agua fría.

El circuito de retorno comunica el punto más alejado de la red de impulsión de agua fría con la entrada del depósito acumulador. Para que se produzca la circulación de agua en este circuito, se dispondrá de una “bomba de circulación de retorno”.

VI. Circuito de alimentación eléctrica para fuerza y maniobra.

El circuito de alimentación eléctrica de fuerza y maniobra permite que los distintos receptores eléctricos que componen la instalación reciban la tensión necesaria para su accionamiento, así como las señales de maniobra necesarias para el correcto y seguro funcionamiento del conjunto.

VII. Sistema de control.

El sistema de control del circuito de utilización de agua caliente sanitaria centralizada es muy simple, consistiendo generalmente en un control de tipo termostático todo-nada para el accionamiento de la bomba de circulación de retorno.

4.2.2 Esquema básico de la instalación de agua caliente sanitaria centralizada con los componentes principales.

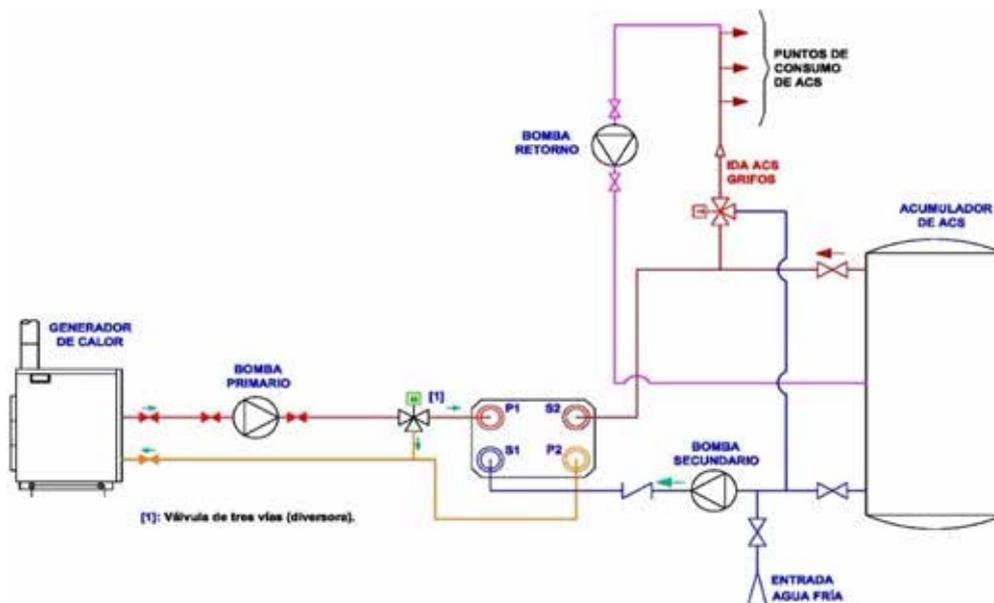


Figura 1.8 Instalación de agua caliente centralizada con los componentes principales.

(1) Sólo durante el tiempo de funcionamiento de la bomba de retorno.

4.3 Instalación para servicio de climatización.

Las instalaciones centralizadas de climatización de los edificios se pueden clasificar en dos grandes grupos:

A. Sistemas directos: El sistema frigorífico es del tipo de expansión directa, solo frío o bomba de calor, dotado de una o varias unidades exteriores conectadas a un gran número de unidades interiores (multisplit).

Se aplican generalmente a instalaciones centralizadas de edificios de un solo titular, predominando los usos de oficinas, institucionales, etc.

B. Sistemas indirectos: El generador, solo frío o bomba de calor, produce agua climatizada para alimentar los elementos emisores (climatizadores, fan-coils, etc.) a través del circuito hidráulico de distribución.

Los sistemas indirectos se aplican en instalaciones centralizadas de edificios de un solo titular y de titularidad múltiple, para usos de oficinas, institucionales, residencial público, hospedaje, hospitalario, etc.

4.3.1 Equipo frigorífico de expansión directa del tipo multisplit con sistema inverter.

Estos sistemas directos de climatización realizan la producción térmica (generalmente calor y frío) por medio de una unidad exterior que aloja el compresor frigorífico comunicada por medio de líneas de refrigerante con las unidades interiores (multi split).

Tienen la particularidad de que la línea de refrigerante “reparte” el caudal por medio de elementos derivadores, por lo que precisa solamente de una línea de reparto, reduciéndose el metraje de tuberías frigoríficas en la instalación, la carga total de refrigerante del sistema, así como los costes de ejecución.

Estos sistemas son del tipo volumen de refrigerante variable *inverter* y permiten adaptar la producción térmica a las necesidades de cada compartimento independiente de la instalación.

Podemos clasificar estos sistemas en dos grupos, en función de tipo de unidad interior utilizada:

A. Unidad interior para ambiente: se sitúan en el interior del local climatizado y aspiran y descargan directamente sobre el ambiente del local, sin necesidad de red de conductos. Estas unidades pueden climatizar solamente un local, aplicándose principalmente a locales de tamaño reducido.

B. Unidad interior para conducto: se sitúan generalmente en el falso techo de los locales a climatizar y precisan de red de conductos para impulsión y retorno. Pueden dar servicio a uno o a varios locales. Cuando se aplican para varios locales, éstos deberán estar situados en las proximidades de la ubicación de la unidad interior climatizadora.

4.3.2 Sistema centralizado indirecto de producción de agua climatizada y emisores dinámicos.

Estos sistemas realizan la producción térmica de forma centralizada sobre un fluido caloportador, normalmente agua.

La generación de calor puede realizarse mediante una planta enfriadora de agua, aunque en estos casos puede utilizarse una bomba de calor reversible, que evita la necesidad de instalar un sistema complementario de calefacción.

Los elementos que incorporan las instalaciones de climatización son muy similares a los descritos para el servicio de calefacción, presentando dos diferencias principales:

A. Los sistemas hidráulicos para climatización trabajan con unos diferenciales térmicos muy inferiores a los utilizados en sistemas de climatización ($\Delta T = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ habitualmente). Debido a ello, los caudales de circulación hidráulica son mayores para una misma potencia térmica transportada.

B. Los emisores térmicos son siempre forzados (intercambio dinámico), ya que los sistemas estáticos no funcionan con los diferenciales de temperatura disponibles en estos sistemas.

Los sistemas centralizados indirectos se pueden clasificar en dos grupos, en función del tipo de equipo emisor térmico:

A. Unidad emisora tipo fan-coil: el fan-coil es un equipo emisor de intercambio forzado, que incluye, en el interior de una envolvente común, como mínimo, una batería de intercambio térmico, un dispositivo de filtración (filtro), un pequeño ventilador centrífugo, una bandeja de recogida del condensado cuando el equipo funciona en periodo estival y un pequeño ventilador centrífugo que garantiza la circulación de aire para posibilitar el intercambio térmico del equipo. Habitualmente no incorporan dispositivo de aportación para el control de la humedad.

Opcionalmente, podrían permitir la conexión para una toma de aire exterior que permite la aportación de aire de ventilación necesario para la instalación.

Puede ser de instalación en ambiente o para distribución de aire a través de red de conductos:

- Los fan-coil de ambiente se sitúan en el interior de local climatizado y aspiran y descargan directamente sobre el ambiente del local, sin necesidad de red de conductos. Pueden climatizar un solo local.
- Los fan-coil de conducto se sitúan generalmente en el falso techo de los locales a climatizar y precisan de red de conductos para impulsión y retorno. Pueden dar servicio a un solo local, o a varios locales, situados en la proximidad de la situación de la unidad.

B. Unidad emisora del tipo unidad de tratamiento de aire (UTA): la unidad de tratamiento de aire es un equipo emisor compuesto de secciones que permiten acondicionar el aire de los espacios climatizados.

Las secciones características de estas unidades son las siguientes:

- **Sección de mezcla:** donde se produce la mezcla entre el caudal de aire recirculado (retorno) y el caudal que proviene del exterior para la renovación del aire de los locales.

La posibilidad de realizar la mezcla de aire exterior y aire recirculado en este equipo representa una gran ventaja respecto a otros sistemas que generalmente no lo permiten.

- **Sección de prefiltración:** donde se hace pasar el caudal de aire resultante de la mezcla por un pre-filtro, para retener las partículas de mayor tamaño.
- **Sección de filtración de alta eficiencia:** situada a continuación de la sección de prefiltración, la sección de filtración de alta eficiencia retiene la mayor parte de las partículas de tamaño muy pequeño que se encuentran en el aire, mejorando su calidad.
- **Sección de enfriamiento/calentamiento:** según las condiciones del agua en el interior de la batería, permitirá el enfriamiento en periodo de verano y el calentamiento en periodo de invierno.
- **Sección de humidificación:** donde se puede aportar humedad específica al caudal del aire en circulación.
- **Sección de separador de gotas:** que se sitúa después de la sección de humidificación, en el sentido de circulación del aire, con la función de recoger las gotas líquidas en suspensión que son arrastradas por la corriente del aire que pasa por la sección de humidificación.
- **Sección de ventilación:** donde se ubica el ventilador que produce la circulación a través de la unidad de tratamiento de aire y de los circuitos de impulsión y retorno, que permiten enviar y devolver el aire tratado a los locales climatizados.

Este sistema de emisión se aplica a climatización de edificios con gran superficie de planta utilizados como locales de oficinas, comerciales, institucionales, etc.

Atendiendo a la modulación del caudal que permita la unidad de tratamiento de aire, existen dos tipos de sistemas:

A. Sistemas de caudal de aire constante: el caudal de aire en circulación permanece fijo.

B. Sistemas de caudal de aire variable: la instalación incorpora elementos que permiten variar el caudal de aire en circulación para conseguir unas mejores condiciones de confort en cada zona y una mejora de la eficiencia energética.

El sistema requiere disponer de unidades de tratamiento de aire de caudal variable, compuertas de aire modulantes y difusores de impulsión de caudal variable, además de un sistema de control que permita la modulación automática del conjunto, adaptándose a la carga térmica de los locales que componen la instalación en cada momento.

5 UTILIZACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN LAS INSTALACIONES CENTRALIZADAS

El incremento del uso de sistemas que utilizan energías renovables en las instalaciones térmicas en los últimos años viene determinado por diferentes motivos:

- A.** La normativa actual establece la obligación de utilizar sistemas de energía renovable para determinadas instalaciones (por ejemplo, utilización de energía solar térmica para la producción térmica de las instalaciones de agua caliente sanitaria).
- B.** La reducción de las emisiones de dióxido de carbono, cada vez más penalizada, por ser la principal causante del efecto invernadero.
- C.** La mejora de la eficiencia energética de las instalaciones, que contribuye asimismo a la reducción de las emisiones de dióxido de carbono.

Los sistemas de energías renovables más utilizados para las instalaciones centralizadas de los edificios son las siguientes:

- A.** Instalación de **captación de energía solar térmica**.
- B.** Instalación de **biomasa**.
- C.** Instalación de **geotermia**.

5.1. Instalación de captación de energía solar térmica.

Los sistemas de captación de energía solar térmica se utilizan principalmente para la producción de agua caliente sanitaria y el calentamiento del agua de piscinas cubiertas en los edificios, aunque también pueden aplicarse en sistemas de calefacción.

La utilización de la energía solar térmica para el servicio de calefacción requiere un estudio especial, ya que para cubrir

este servicio se precisa una enorme superficie de captación que obliga a prever sistemas de evacuación del calor o de anulación de la instalación en época estival, para evitar sobrepresiones en el sistema. Por este motivo, su utilización para servicio de calefacción es muy reducida.

Los sistemas de captación de energía solar para producción de agua caliente sanitaria y calentamiento de piscinas, para su correcto funcionamiento, deben disponer de cuatro circuitos o subsistemas, que solamente tienen comunicación térmica, no existiendo entre ellos comunicación hidráulica:

- A.** *Circuito de captación de energía solar térmica (primario):* es un sistema hidráulico cerrado donde están integrados los captadores solares y cuya misión es recoger el calor procedente del Sol, para cederlo al circuito de utilización. Al ser la energía solar una energía sin continuidad en la disponibilidad, se deberá incorporar un depósito que permita acumular la energía.
- B.** *Circuito de utilización (secundario):* es un sistema hidráulico abierto que permite el calentamiento del agua de los servicios que la demandan, de consumo y su almacenamiento, debiendo disponer éste de capacidad suficiente para cubrir los periodos punta de consumo que pueden darse en la instalación.
- C.** *Circuito de evacuación de excedente térmico:* es un sistema hidráulico donde está integrado un sistema de evacuación de calor (suele ser un dispositivo del tipo aerotermo), que permite evacuar hacia el aire exterior el excedente de calor que puede producirse en el sistema cuando la energía captada es mayor que la energía consumida en los procesos.

Para evitar la instalación del circuito de evacuación del excedente térmico se ha diseñado un sistema que permite el vaciado automático del fluido térmico del sistema de captación, evitando de esta forma el sobrecalentamiento (sistema drain-back).

- D.** *Circuito de apoyo con energía convencional o residual:* es el sistema que permite cubrir las necesidades del servicio en aquellos periodos del día, mes o año, donde la captación de energía solar es insuficiente para cubrir el servicio.

Por las características de variabilidad en la disponibilidad de la energía solar y discontinuidad de las necesidades del servicio durante el año, no es factible el diseño de sistema de captación de energía solar que no incorpore un circuito de apoyo con energía convencional o residual, si ésta última estuviera disponible.

5.1.1 Descripción general de componentes de la instalación colectiva de captación de energía solar térmica.

El **circuito de captación de energía solar térmica** se compone de seis elementos principales:

I. Captador solar.

El captador solar es el componente de la instalación encargado de aprovechar la energía radiante procedente del Sol y cederla al fluido térmico circulante, que habitualmente es una mezcla de agua con anticongelante.

El diseño del sistema de captación deberá realizarse de forma que el número de captadores instalados sea adecuado para cubrir las aportaciones mínimas de energía solar definidas en la normativa vigente en el momento de la puesta en servicio de la instalación.

II. Sistema de distribución.

El sistema de distribución es el conjunto de componentes que permiten la circulación del agua caliente entre el generador de calor y el intercambiador térmico.

El sistema de distribución y sus componentes son muy similares a los ya descritos para el servicio de calefacción y el circuito primario del servicio de agua caliente sanitaria, por lo que no procede repetir su descripción.

En los casos en que la instalación incorpore “circuito de evacuación del excedente térmico”, la válvula de tres vías necesaria para el control de este sistema estará incorporada dentro del sistema de distribución.

III. Intercambiador térmico.

El intercambiador térmico es el elemento encargado de transmitir el calor del circuito de captación solar hacia el circuito de utilización, que no tienen comunicación hidráulica entre sí. Por tanto, el intercambiador es el elemento separador entre los circuitos de captación solar y de utilización, estando integrado hidráulicamente sobre ambos circuitos.

Constructivamente, dispone de cuatro conexiones hidráulicas, dos para el circuito de producción (también denominado primario) y dos para el circuito de utilización (también denominado secundario), siendo muy similar al ya descrito para el sistema de producción de agua caliente sanitaria. Los tipos de intercambiador descritos para el circuito de producción de agua caliente sanitaria también resultan válidos para el sistema de captación de energía solar térmica.

IV. Acumulador solar.

El acumulador solar tiene la misión de almacenar la energía térmica que recogen los captadores solares para su utilización en los periodos de demanda de los servicios que cubre.

La capacidad del acumulador solar deberá estar relacionada con la superficie total de captación que incorpora la instalación, de forma que se consiga el mayor volumen posible de agua almacenada, pero garantizando una temperatura

de acumulación suficiente que permita mantener las condiciones adecuadas de utilización del servicio.

En instalaciones de tamaño reducido, intercambiador y acumulador forman parte del mismo conjunto (inter-acumulador).

V. Circuito de alimentación eléctrica para fuerza y maniobra.

El circuito de alimentación eléctrica de fuerza y maniobra permite que los distintos receptores eléctricos que componen la instalación reciban la tensión necesaria para su accionamiento, así como las señales de maniobra necesarias para el correcto y seguro funcionamiento del conjunto.

VI. Sistema de control.

El sistema de control del circuito de producción de agua caliente sanitaria centralizada tiene la finalidad de gobernar el funcionamiento de la instalación para garantizar la temperatura adecuada en el depósito acumulador en todo momento, independientemente del consumo instantáneo de la instalación.

Por tanto, el sistema de control básico se realiza “en función de la diferencia de temperatura entre la salida de agua del captador solar y la existente en el acumulador de energía solar”.

El sistema de control en función del diferencial de temperatura precisa de los siguientes elementos básicos:

- a. Sonda [sensor] de temperatura de agua a la salida del captador, que proporciona al programador la información de temperatura que alcanza el agua en ese punto, en cada momento. Esta sonda, generalmente de tipo de “inmersión”, se instala sobre la tubería de salida del captador, en contacto térmico con el fluido caloportador.
- b. Sonda [sensor] de temperatura de agua del depósito acumulador, que proporciona al programador la información de temperatura que tiene el agua en el acumulador solar. Esta sonda, generalmente de tipo de “inmersión”, se instala sobre el acumulador, en contacto térmico con el fluido caloportador acumulado en el depósito.
- c. Centralita o programador, que es el aparato que recibe las señales del sensor de temperatura y que, en base al comportamiento de éstas y a los valores programados para el funcionamiento, gobierna el funcionamiento de la bomba de circulación del circuito de captación solar.

Estos sistemas se ajustan generalmente con unos diferenciales de temperatura comprendidos entre 2 °C y 7 °C, es decir, la bomba no debe funcionar cuando el diferencial sea menor de 2 °C y no deberá estar parada cuando el diferencial sea mayor de 7 °C.

- d. Bomba de circulación del circuito de captación solar, sobre la que actúa el programador.

Cuando la bomba está parada no existe circulación del fluido y, por tanto, tampoco se produce cesión de energía térmica.

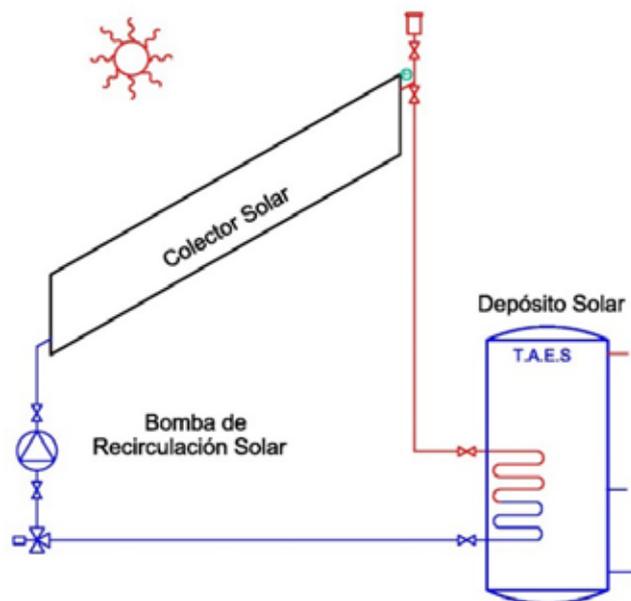


Figura 1.9 Esquema básico de circuito de captación solar (primario).

El circuito de utilización (secundario) de una instalación de captación de energía solar térmica incorporará los elementos que precise el servicio para el que se pretende utilizar la energía captada, siendo el servicio más habitual en instalaciones centralizadas la producción de agua caliente sanitaria. En este caso, el circuito secundario se compone de cinco elementos principales:

I. Intercambiador de calor (lado secundario).

El intercambiador de calor cede el calor del circuito primario de captación solar al circuito secundario de utilización, representando la barrera de separación entre ambos circuitos hidráulicos.

El intercambiador de calor puede estar instalado dentro del acumulador solar, no debiendo instalarse, en ningún caso, dentro del acumulador de ACS, para evitar interferencias con el sistema de apoyo, que va conectado sobre este último acumulador.

II. Acumulador de ACS.

El acumulador de ACS tiene la misión principal de almacenar el agua caliente procedente del circuito primario de captación solar y permite cubrir con su capacidad aquellas puntas de consumo de agua caliente sanitaria que se producen en determinados periodos del día.

Cuando el dispositivo incluye en un mismo conjunto el intercambiador y el acumulador, se denomina inter-acumulador, disponiendo en este caso de cuatro conexiones hidráulicas, que permiten la conexión hidráulica de impulsión y retorno de los circuitos primario y secundario.

Además de las distintas tomas que permiten la conexión del circuito hidráulico, el acumulador debe disponer de una boca de registro que permita acceder al interior del depósito para realizar la limpieza y comprobación del estado de la superficie interior (boca de hombre).

III. Sistema de distribución.

El sistema de distribución consiste en un circuito hidráulico abierto que comunica la entrada del agua fría procedente de la red correspondiente y finaliza en los grifos de utilización del agua caliente, incorporando los elementos característicos de los circuitos hidráulicos abiertos.

En las instalaciones dotadas de intercambiador externo y acumulador, este circuito incluye la bomba de circulación que hace circular el agua entre ambos elementos, que lógicamente no existe cuando el sistema incorpora inter-acumulador.

IV. Válvula mezcladora termostática hidráulica.

La válvula mezcladora termostática hidráulica es el dispositivo encargado de mantener una temperatura de distribución fija en la tubería de impulsión de agua caliente sanitaria, garantizando de esta forma que no se alcance una temperatura muy elevada en la red de impulsión de agua caliente sanitaria que podría producir quemaduras a los usuarios (Fig. 2.7).

La obtención de la temperatura adecuada por medio de la válvula se consigue mezclando agua caliente procedente del acumulador con agua fría de la red de entrada.

V. Sistema de retorno.

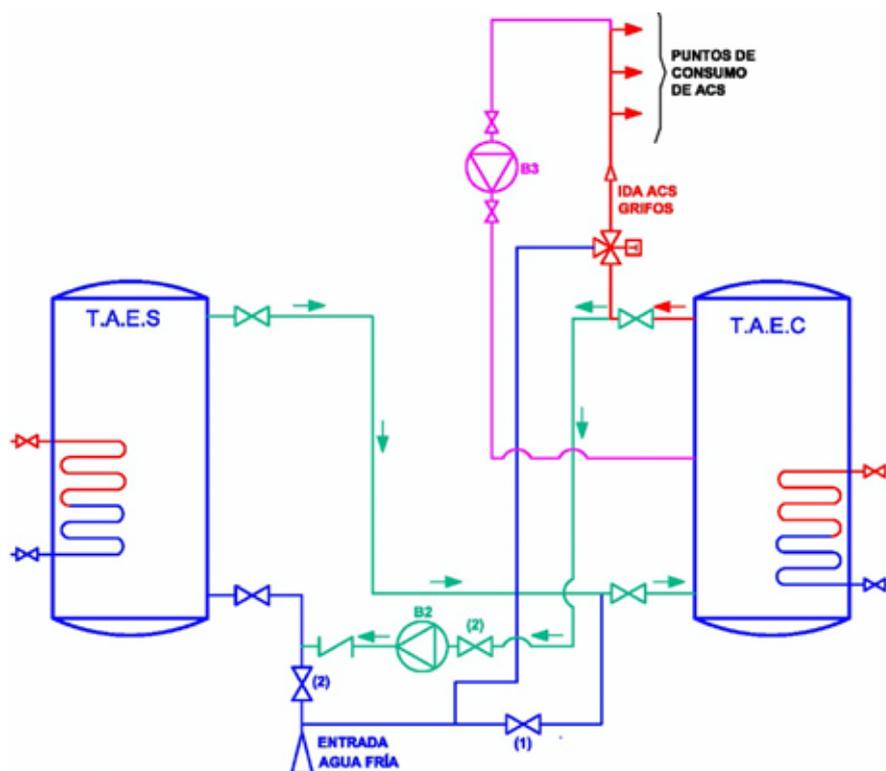
El sistema de retorno de agua caliente sanitaria permite mantener la temperatura adecuada en el circuito de impulsión de agua incluso en aquellos periodos del día en los que no existe consumo de agua caliente, evitando vertidos de agua fría y reduciendo los tiempos de disponibilidad del servicio.

A través del circuito de retorno se produce el cierre automático y temporal(1) del circuito secundario, que en condiciones normales de funcionamiento es de tipo abierto, lo que permite la circulación de agua en “circuito cerrado” y su calentamiento sin necesidad de realizar consumo de agua caliente ni vertido del agua fría.

El circuito de retorno comunica el punto más alejado de la red de impulsión de agua fría con la entrada del depósito acumulador. Para que se produzca la circulación de agua en este circuito, se dispondrá de una “bomba de circulación de retorno”.

VI. Circuito de alimentación eléctrica para fuerza y maniobra.

El circuito de alimentación eléctrica de fuerza y maniobra permite que los distintos receptores eléctricos que componen la instalación reciban la tensión necesaria para su accionamiento, así como las señales de maniobra necesarias para el correcto y seguro funcionamiento del conjunto.



(1): Válvula manual. Siempre cerrada, excepto en operaciones de mantenimiento depósito solar.

(2): Válvula manual. Siempre abierta, excepto en operaciones de mantenimiento depósito solar.

Figura 1.10 Circuito de utilización de agua caliente sanitaria de instalación de captación de energía solar.

VII. Sistema de control.

El sistema de control del circuito de utilización de agua caliente sanitaria centralizada es muy simple, consistiendo generalmente en un control de tipo termostático todo-nada para el accionamiento de la bomba de circulación de retorno.

El circuito de evacuación del excedente térmico de una instalación de captación de energía solar térmica se acopla sobre el circuito primario de captación a través de un dispositivo del tipo válvula de tres vías. Este circuito estará compuesto de cuatro elementos principales:

I. Red de evacuación de la energía térmica excedente.

La red de evacuación de la energía térmica excedente es un circuito hidráulico simple que comunica el circuito principal de captación solar con el elemento disipador de energía.

II. Disipador térmico.

El disipador térmico es el elemento encargado de evacuar la energía térmica excedente, normalmente hacia el ambiente exterior. Generalmente se trata de un aerotermo que funciona con aire forzado, para reducir la superficie de emisión térmica.

En los últimos años se ha venido imponiendo la instalación de un sistema de captación de energía solar térmica, denominado *drain-back*, que permite la extracción automática del fluido térmico caloportador en el circuito primario solar, lo que da como resultado:

- La protección del circuito primario solar frente a bajas temperaturas y la posibilidad de congelaciones del fluido térmico que pueden producirse en invierno.
- La protección del sistema frente a sobretemperaturas o excedentes de energía captada, que suele producirse en época de verano.

Al realizarse el vaciado automático del sistema, el intercambio térmico deja de producirse, ya que dentro del intercambiador el fluido caloportador sería sustituido por aire, cuya capacidad de intercambio es muy baja.

Cuando el control del sistema *drain-back* detecta necesidad de funcionamiento del sistema de captación solar, al ser las condiciones adecuadas para ello, inyecta nuevamente de manera automática el fluido caloportador al sistema de captación, lo que permite la captación de la energía.

III. Circuito de alimentación eléctrica para fuerza y maniobra.

El circuito de alimentación eléctrica de fuerza y maniobra permite que los distintos receptores eléctricos que componen la instalación reciban la tensión necesaria para su ac-

cionamiento, así como las señales de maniobra necesarias para el correcto y seguro funcionamiento del conjunto.

IV. Sistema de control.

El **sistema de control** del circuito de evacuación del excedente térmico consiste en un control termostático todo-nada que gobierna la "válvula de tres vías". El ajuste del control termostático debe ser adecuado para conseguir el mejor aprovechamiento del sistema de captación, pero manteniendo unas condiciones de seguridad y protección de la instalación y del propio depósito ante sobretemperaturas que pueden darse sobre todo en periodos de bajo consumo y de gran producción térmica (época estival).

El **circuito de apoyo con energía convencional o residual** de una instalación de captación de energía solar térmica se acopla sobre el circuito secundario (normalmente se realiza dentro del propio depósito acumulador de ACS), a través de un intercambiador térmico. Este circuito estará compuesto de cuatro elementos principales:

I. Intercambiador de apoyo.

El intercambiador de apoyo es el elemento a través del que se cede el calor de la fuente de apoyo hacia el circuito secundario de ACS, cuando la energía generada y acumulada por el sistema de captación solar es insuficiente para cubrir las necesidades de la instalación.

II. Red de apoyo con energía convencional o residual.

La red de apoyo con energía convencional o residual es un circuito hidráulico simple que comunica el circuito secundario de utilización de ACS con el generador de apoyo, a través del intercambiador de apoyo, para garantizar la separación hidráulica de los circuitos de producción y de utilización.

III. Generador de apoyo.

El generador de apoyo es el elemento encargado de aportar la energía complementaria en aquellos periodos donde la energía solar no puede cubrir toda la demanda.

IV. Circuito de alimentación eléctrica para fuerza y maniobra.

El circuito de alimentación eléctrica de fuerza y maniobra permite que los distintos receptores eléctricos que componen la instalación reciban la tensión necesaria para su accionamiento, así como las señales de maniobra necesarias para el correcto y seguro funcionamiento del conjunto.

V. Sistema de control.

El **sistema de control** del circuito de apoyo con energía convencional o residual es muy simple, ya que se trata de un control de temperatura mínima del agua caliente acumulada en el depósito de ACS.

El ajuste de temperatura de este control debe garantizar una temperatura de ACS en el circuito de distribución que sea suficiente para cumplir las condiciones establecidas en la normativa vigente.

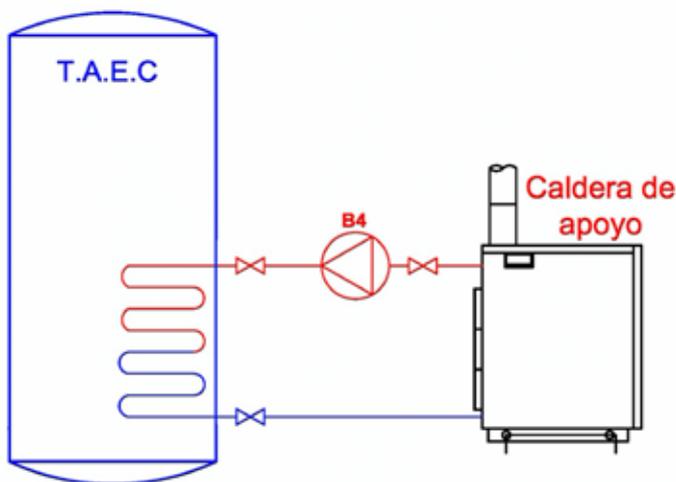


Figura 1.11 Subsistema de apoyo con energía convencional para la instalación solar.

5.1.2 Esquema básico de la instalación de captación de energía solar térmica con los componentes principales.

El esquema de la instalación de energía se obtendría integrando todos los subsistemas descritos en los apartados anteriores en un único conjunto.

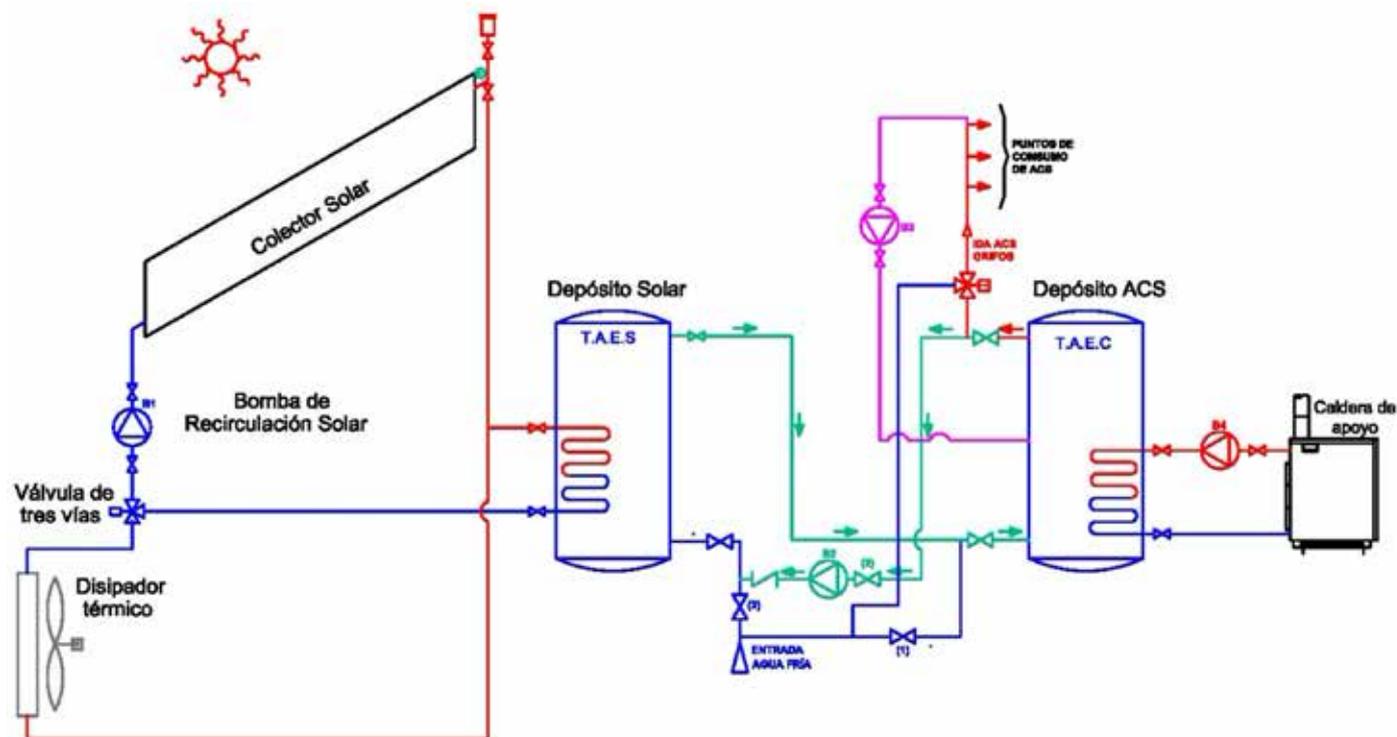


Figura 1.12. Esquema básico de instalación centralizada de energía solar para servicio colectivo.

5.2. Instalación de biomasa.

Son instalaciones de calefacción y producción de agua caliente sanitaria que incorporan generadores de calor que utilizan la biomasa como fuente de energía para la producción térmica.

Además de las diferencias constructivas de diseño del generador de calor respecto a otros generadores de calor para combustibles líquidos o gaseosos, estas instalaciones requieren para su funcionamiento:

- Un depósito de almacenamiento para el combustible.
- Un sistema de alimentación, que permita aportar al generador la cantidad de combustible suficiente para alcanzar su producción térmica nominal.

Los elementos del sistema de distribución y emisión son similares a los utilizados en instalaciones centralizadas que utilizan combustibles convencionales (no renovables).

5.3. Instalación de geotermia.

La instalación de geotermia se compone básicamente de un equipo de producción térmica del tipo “bomba de calor” que realiza el intercambio térmico del sistema con la energía térmica almacenada bajo la superficie sólida del terreno. Para que el intercambio térmico sea posible, la instalación incorpora unos colectores de intercambio que se integran en la solera del terreno.

La principal dificultad que presenta este sistema está en la instalación de los colectores de intercambio térmico, que precisa de una excavación en el terreno exterior a la edificación.

Los sistemas de instalación de colectores de intercambio pueden agruparse en cuatro grupos:

- A. Colectores horizontales:** se instalan enterrados a poca profundidad precisando de una gran superficie de terreno. Salvo excepciones donde se disponga de una gran superficie de terreno exterior, no son aplicables a instalaciones de producción térmica centralizadas.
- B. Sondas geotérmicas:** se utilizan cuando la superficie del terreno exterior es escasa y precisan de un terreno
- C. Sondeos de captación de aguas someros:** se utilizan cuando la capa freática del terreno es elevada y permite utilizar el agua como fluido de intercambio térmico.
- D. Cimientos geotérmicos:** se aplican a situaciones especiales donde sea necesario realizar una excavación para mejorar la estructura del suelo mediante cimentaciones superficiales. En este caso, los colectores de intercambio se integran en los pilotes de sujeción de la estructura.

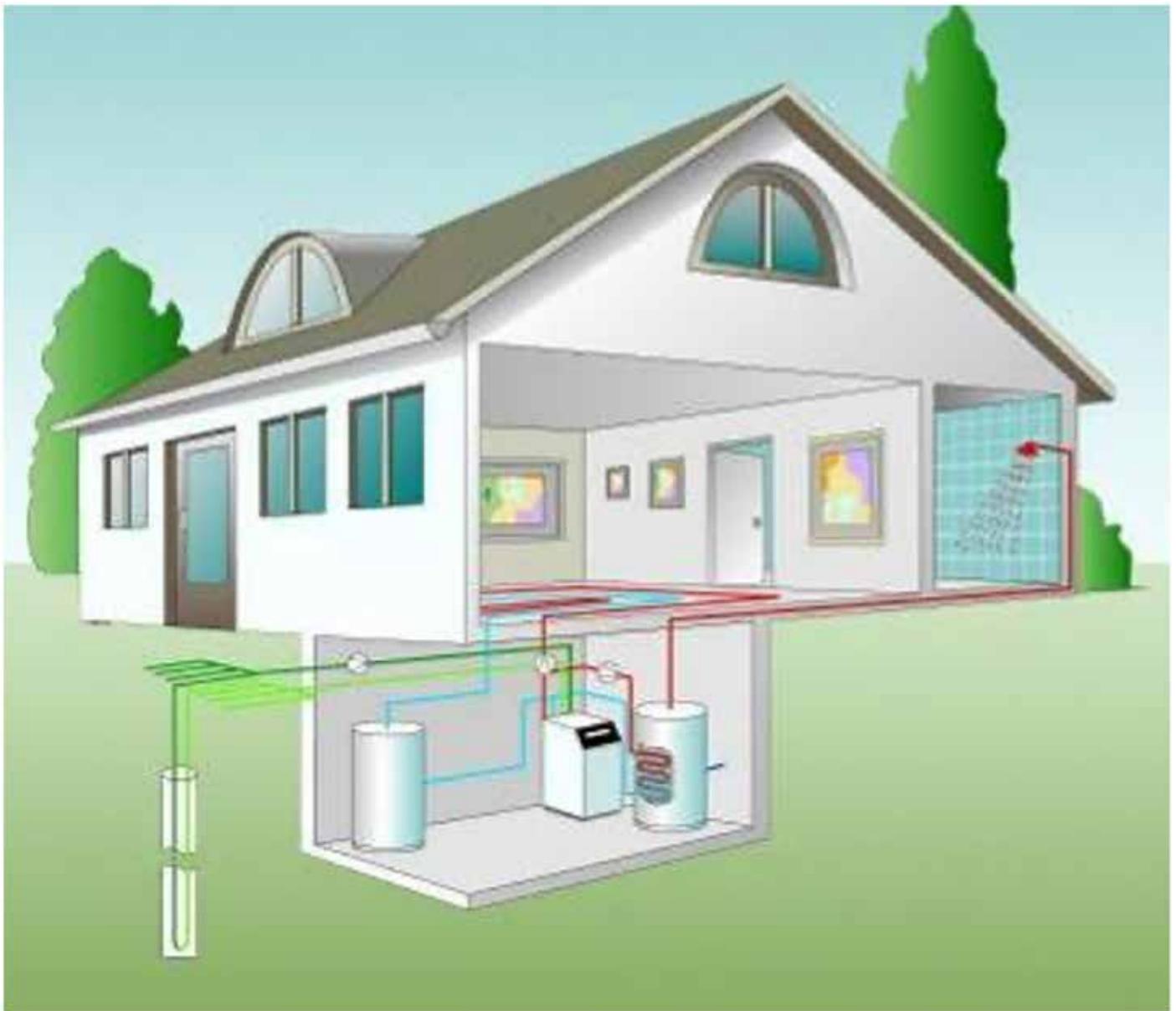


Figura 1.13 Esquema de instalación geotérmica con sonda vertical Fuente: www.bemco.be

■ CAPÍTULO 2

MEDICIÓN INDIVIDUAL DEL CONSUMO DE CALOR EN INSTALACIONES CENTRALIZADAS



1 OBJETO

El objeto de este capítulo es doble: por un lado, explicar y clarificar los requisitos que han de cumplir los dispositivos de contabilización de consumos de calefacción en instalaciones térmicas centralizadas en los edificios, tanto en columnas como en anillos, y por otro lado presentar unos estándares y buenas prácticas en la contabilización de dichos consumos y la reparación de los costes de calefacción y agua caliente sanitaria.

La contabilización de consumos de calefacción en sistemas centralizados es, posiblemente, la iniciativa de eficiencia energética más rentable de cuantas existen, si tenemos en cuenta la escasa inversión necesaria y el enorme potencial de ahorro energético que implica. Además del reparto justo del gasto en calefacción entre los vecinos, la contabilización de consumos propicia la sensibilización del consumidor final hacia su propio gasto en calefacción y agua caliente sanitaria (ACS), y la consecuente actuación sobre los medios de control (generalmente válvulas con cabezal termostático), para alcanzar unos requisitos de confort y eficiencia energética en la vivienda.

En este capítulo se explican cómo en la práctica se aplican las mediciones realizadas mediante ejemplos y casos prácticos de cálculo de facturaciones de consumos, tal y como son realizadas por parte de las empresas de servicios de contabilización de consumos u otras que tengan la necesidad, debida a su propia actividad, de realizar la contabilización mencionada.

Según estudios realizados en el seno de la Unión Europea¹ el ahorro potencial de esta iniciativa es de entre un 20% y un 26% del gasto en calefacción de las viviendas, lo que supone, para España, una reducción de emisiones a la atmósfera de 1 millón de tCO₂ anuales. Estos datos han sido corroborados por la EVVE (Asociación Europea de Medición Individual de Calefacción) que ha constatado a partir de diferentes estudios realizados por entidades independientes que los ahorros potenciales derivados sólo por la instalación de dispositivos de medición individual de calefacción en viviendas, como repartidores de costes de calefacción, están por encima del 20%, alcanzándose, cuando dicha contabilización individual se combina con la instalación de dispositivos de regulación, como válvulas termostáticas en radiadores, hasta el 40%.

En España, AERCCA (Asociación Española de Repartidores de Costes de Calefacción) y la Universidad de Alcalá han realizado estudios de ahorros derivados de la contabilización individual de calefacción en más de 2.000 viviendas, con un resultado de ahorros medios obtenidos del 24,7% en el gasto en calefacción del edificio.

La instalación de dispositivos de medición de calefacción individual en edificios dotados de sistemas centralizados es de

obligado cumplimiento en edificios de nueva construcción desde la publicación del Real Decreto 1751/1998 (RITE, Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios). En cumplimiento con las Directivas Europeas de Eficiencia Energética 2012/27/UE y (UE) 2018/2002, en España se ha publicado el real decreto 736/2020 de 4 de agosto, por el que se regula la contabilización de consumos individuales en instalaciones térmicas de edificios. Para la mejor comprensión y aplicación del contenido de dicho Real Decreto el IDAE ha publicado una Guía Técnica² de lectura recomendada.

2 CAMPO DE APLICACIÓN

En primer lugar, cabe establecer una distinción entre la contabilización de calefacción por contador y por repartidores de costes. Los contadores de calefacción constituyen un sistema de medición más exacto y más sencillo, pero no pueden ser utilizados en todos los edificios con calefacción central porque depende del tipo de instalación, solo se pueden utilizar en instalaciones de calefacción central en anillo.

Estas instalaciones de calefacción en anillo se caracterizan por tener un único punto de entrada y de salida para cada vivienda. Por tanto, en este tipo de instalaciones suele ser viable instalar contadores individuales en la entrada de cada vivienda.

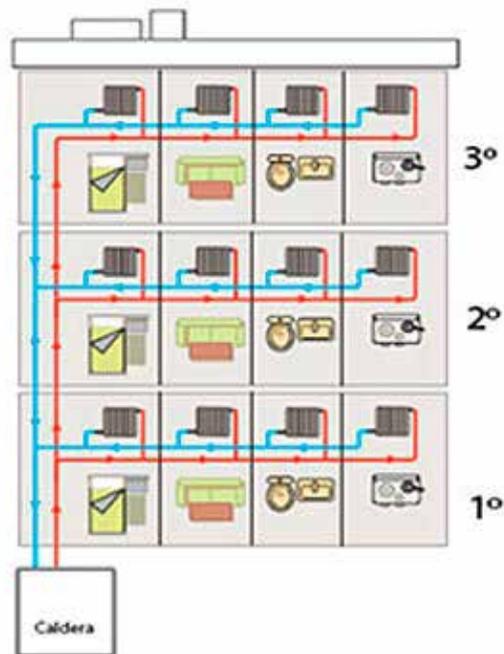


Figura 2.1. Distribución de calefacción en anillo.

Por el contrario, se deberán utilizar repartidores de costes en los edificios con instalaciones de calefacción central en columna.

(1) Normativa De Buenas Prácticas En La Distribución Rentable De Costes Y La Facturación De Consumo Individual De Calefacción, Refrigeración Y Agua Caliente Sanitaria En Edificios De Pisos Y Polivalentes. Diciembre 2016 (https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/mbic_guidelines20170123_es.pdf)

En la instalación en columna el radiador de una estancia del primer piso comparte entrada con la misma del piso superior y así sucesivamente. El uso de contadores de consumo individuales no es técnicamente viable. En este caso, se tendrán que utilizar repartidores de costes de calefacción para medir el consumo de calor de cada radiador.

Los repartidores de costes son dispositivos electrónicos que se colocan sobre la superficie del radiador. Para calcular el consumo calórico tienen en cuenta tanto el tamaño del radiador como la diferencia entre la temperatura en la superficie del mismo y la temperatura ambiente.

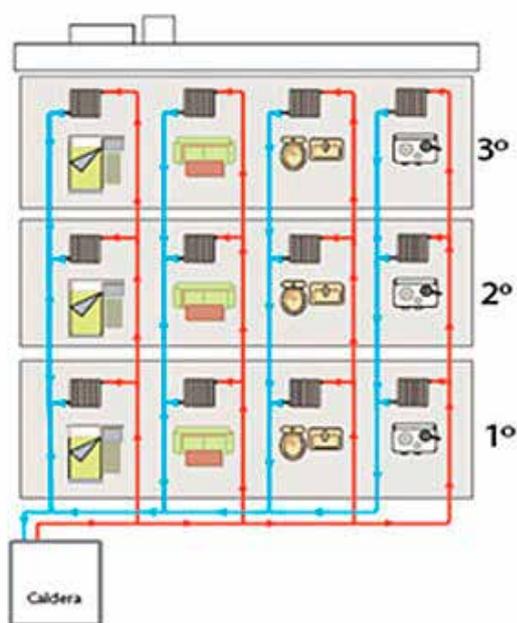


Figura 2.2. Distribución de calefacción por columnas.

En la tabla siguiente se muestran las demandas medias en calefacción en edificios de viviendas en bloques en función de la Zona Climática a la que pertenece. Estas demandas medias se han establecido partiendo de la información recogida en el documento “Escala de calificación energética para edificios existentes” del IDAE, elaborado a partir de simulaciones de edificios, siendo por lo tanto datos teóricos, y adaptándola al consumo real obtenido en posteriores estudios. Para la obtención de esta tabla se han calculado los valores medios de las localidades de cada zona climática.

Consumos de energía final en calefacción por zona climática

Zona Climática	A y α	B	C	D	E
kWh / m ² año	39,37	55,13	75,40	103,43	137,73

La determinación de la zona climática en la que se encuentra un edificio es relevante puesto que el RD 736/2020 determina

que los edificios que se encuentren en las zonas C, D y E estarán obligados a la instalación de dispositivos de contabilización individual de calefacción (contadores o en su caso repartidores de costes) siempre que sea rentable económicamente y viable técnicamente.

El concepto de zona climática está definido en el Código Técnico de la Edificación como: zona para la que se definen unas solicitaciones exteriores comunes a efectos de cálculo de la demanda energética. Se identifica mediante una letra, correspondiente a la severidad climática de invierno, y un número, correspondiente a la severidad climática de verano.

Por otra parte, se tienen en cuenta las zonas climáticas para cada provincia establecidas en el Código Técnico de la Edificación y los datos del censo de viviendas principales del año 2001 publicados por el I.N.E. en las provincias situadas en zona climática C, D o E, (primer año para el que existen datos oficiales posterior a la entrada en vigor de la obligación en el RITE de 1998).

La ciudad de Madrid, y prácticamente todas las localidades de la Comunidad de Madrid, pertenecen a la zona Climática D. Con base en lo anteriormente expuesto se estima que la Comunidad de Madrid tiene más de 600.000 viviendas con calefacción central.

No todos los sistemas centralizados de calefacción permiten la contabilización individual. En concreto, no es técnicamente viable la instalación de contadores de energía en el caso de sistemas de emisores de calor conectados en serie cuando den servicio a más de un usuario en un mismo anillo. Además, en el caso de repartidores de costes, no es técnicamente viable su instalación en los siguientes casos:

- A. Emisores de calor conectados en serie (monotubos en serie).
- B. Ventilconvectores.
- C. Aerotermos.

3 DISTRIBUCIÓN EN ANILLO. CONTADORES DE ENERGÍA

3.1 Normativa

Los hitos respecto a los contadores de energía en la normativa española son los siguientes:

- A. Desde la entrada en vigor del Reglamento de Instalaciones de Calefacción, Climatización y Agua Caliente Sanitaria (RICACS) de 1981, las instalaciones centrales para múltiples usuarios deben disponer de llaves de corte exteriores y previsión de espacio para contadores de energía.

(2) <https://www.idae.es/publicaciones/guia-tecnica-contabilizacion-de-consumos-individuales-de-calefaccion-en-instalaciones>

- B. El contador de energía es obligatorio desde la entrada en vigor del RITE de 1998.
- C. El contador de ACS es obligatorio desde 1986, incluso para instalaciones anteriores a 1981.
- D. El RD 736/2020 obliga a su instalación para todos los edificios existentes, siempre que sea económicamente rentable y técnicamente posible.



Figura 2.3. Contadores de energía.

A pesar de que la distribución en anillo era obligatoria desde el RICACS de 1981, la instalación de contadores de energía no lo fue hasta 17 años más tarde, con el RITE de 1998. Por este motivo, existe un porcentaje de viviendas que todavía no tiene instalado estos contadores.

3.2 Principio de funcionamiento

En la distribución en anillo la contabilización de la energía térmica consumida se realiza mediante contadores de energía que están situados a la entrada de la vivienda. En este tipo de distribución solamente existe una única tubería de entrada y de salida, que conecta todos los radiadores de la vivienda.

Los contadores de energía se componen básicamente de un caudalímetro que registra el paso del agua a la vivienda, dos sondas de temperatura en la entrada y salida de la vivienda para medir el salto de temperatura, y un sistema electrónico que integra en el tiempo la energía consumida.

En las derivaciones a la vivienda hay llaves de corte manuales para labores de mantenimiento y aunque no se disponga de contador de energía sí que era obligatorio entre 1981 y 1998 dejar espacio para permitir la instalación del contador.

Los contadores de calefacción constan, por tanto, de tres partes, totalmente integradas:

- A. Unidad de medición volumétrica. Mide el flujo del caudal que recircular por el circuito de calefacción de la vivienda.
- B. Sensores de temperatura. Miden las temperaturas de entrada y retorno del flujo de caudal del circuito de calefacción de la vivienda. Si los radiadores están abiertos, la temperatura de entrada será mucho más alta que la de salida, a medida que la vivienda templada, éstas se van equiparando.
- C. Unidad de cálculo. Calcula los kWh de calefacción consumida en la vivienda de forma electrónica. Para ello, integra el caudal medido en l/h por el salto térmico (la diferencia entre las temperaturas de entrada y salida).

3.3 Consumo medido

A diferencia del repartidor de costes, el contador de energía, mediante un cabezal electrónico, integra caudal y temperaturas dando como resultado la cantidad de calefacción (medida en kWh) consumida por la vivienda en un período de tiempo determinado, por lo que el valor obtenido se aplica directamente y no conlleva un cálculo de ningún factor K o similar.

4 DISTRIBUCIÓN EN COLUMNA. REPARTIDORES DE COSTES

Antes de 1981 era habitual que las instalaciones de calefacción tuviesen la distribución por montantes. En el sistema de calefacción centralizada por montantes el sistema de tuberías es vertical y atraviesa las plantas del edificio conectando los radiadores de las viviendas en cada vertical.

En estos sistemas de calefacción central con distribución en columna el reparto de costes, para ser técnica y económica-

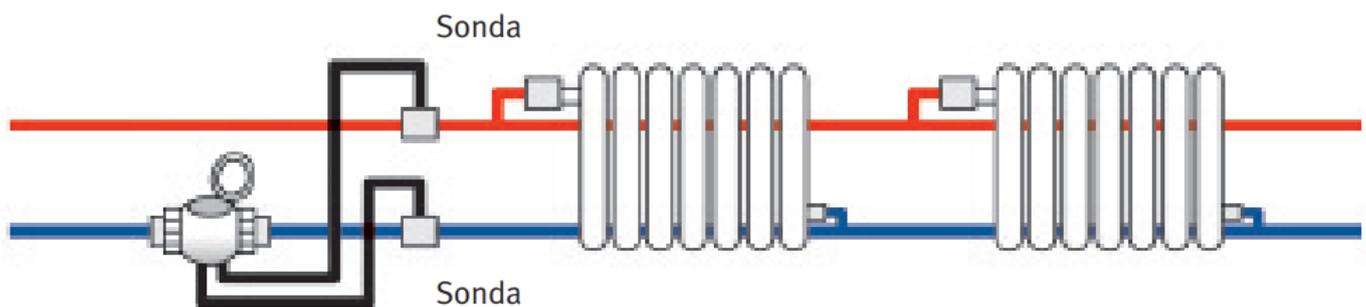


Figura 2.4. Contador de energía en distribución en anillo.

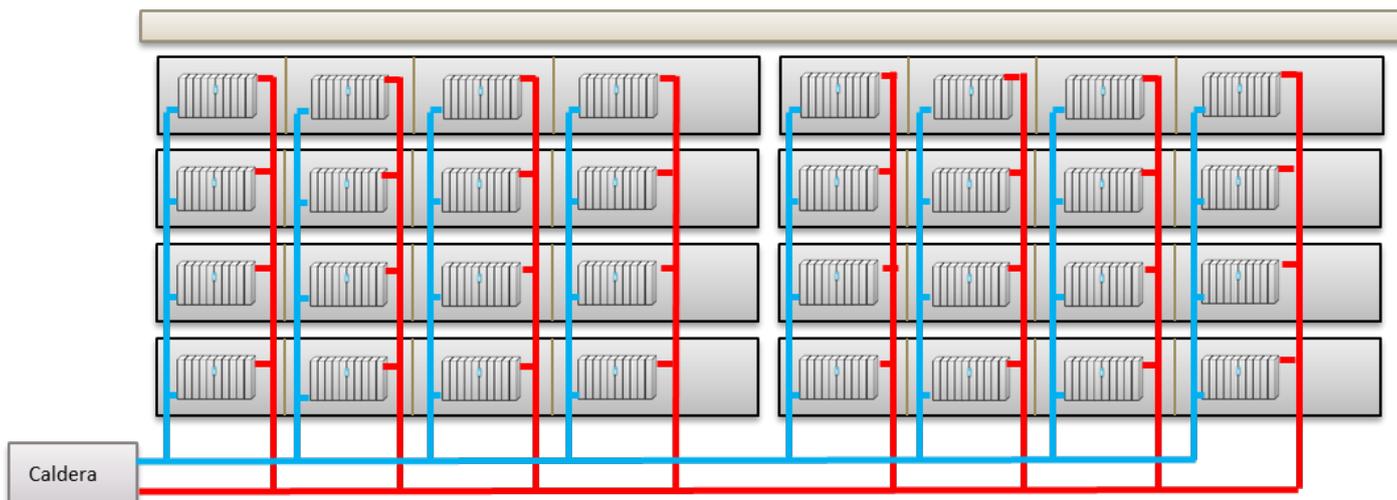


Figura 2.5. Sistema de calefacción por montantes.

mente viable, debe realizarse mediante la instalación de repartidores de costes de calefacción, instalándose un dispositivo en cada radiador de la vivienda.

En este tipo de instalaciones el repartidor de costes electrónico es un elemento de red que comunica datos con un concentrador o receptor de información.

La propia naturaleza de la instalación (un repartidor de costes en cada radiador) hace impensable un cableado de los dispositivos, lo que motiva que los fabricantes opten por un sistema de comunicación por radio frecuencia sin ningún tipo de cableado entre los dispositivos ni con el receptor de la información (ya sea un concentrador o un terminal portátil de lectura).

La lectura automática AMR “Automatic Meter Reading” es la tecnología de recogida automática de datos de consumo, diagnóstico y estado, en este caso, de los repartidores energía,

transfiriendo esos datos a una base de datos central para facturación, solución de problemas y análisis.

4.1 Principio de funcionamiento

Actualmente, los repartidores de costes son dispositivos electrónicos con sensores de temperatura y que computan el calor emitido por el radiador mediante mediciones de la temperatura instantánea integrada en el tiempo.

El principio de funcionamiento de un repartidor electrónico se basa en sondas que recogen valores de temperatura y que activan el conteo del repartidor (UNE EN 834).

La base para el cómputo es la temperatura instantánea del radiador sobre el que está instalado. Como la temperatura es variable con el tiempo, es necesario realizar la medición continua de temperatura e integrarla en el tiempo.

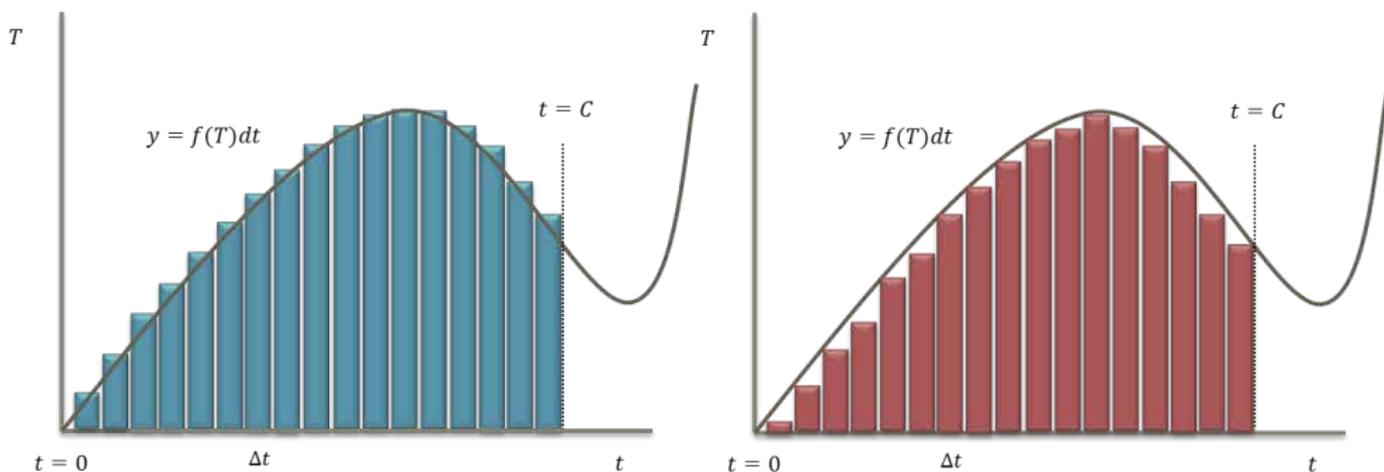


Figura 2.6. Integración de las unidades de conteo en función del tiempo.

Para hacer este valor regular y comparable entre diferentes radiadores (material, dimensiones, etc.), posteriormente, un sistema de facturación multiplica este valor adimensional por un factor corrector K que es un coeficiente obtenido empíricamente para cada marca / modelo de radiador y que existe en una base de datos del fabricante.

Este consumo regulado permite establecer el valor proporcional de consumo respecto al total, y para obtener dichos valores debe de computarse junto con las facturas energéticas.

De acuerdo con dicha norma UNE, los repartidores de costes miden 2 temperaturas: la de la superficie del radiador y la de la temperatura ambiente de la habitación donde está instalado. Estas medidas se toman cada 4 o 5 minutos. Los repartidores registran la integral de la diferencia de temperatura entre sus dos sensores con relación al tiempo.



Figura 2.7. Aspecto de un repartidor de costes montado sobre un radiador.

4.2 Características técnicas

Estos dispositivos de medición constan, de forma simplificada, del cuerpo del repartidor, la chapa trasera y los elementos de sujeción al radiador.

Los repartidores de costes tienen la ventaja de que se instalan sin obras, uno en cada radiador de la vivienda, de forma rápida y sencilla.

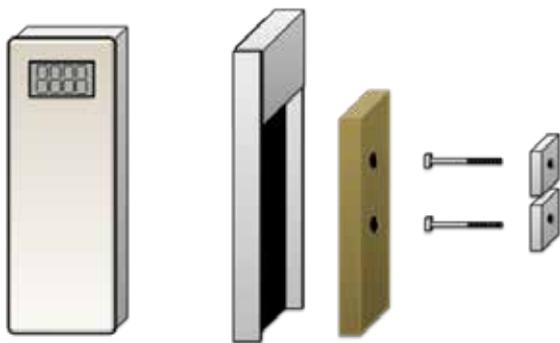


Figura 2.8. Estética habitual de un repartidor de costes de calefacción y componentes básicos de montaje.

NOTA: En algunos tipos de radiadores el método de montaje es soldado. En dichos casos, se utilizará una máquina soldadora especial que asegura que no se dañe el radiador sobre el que se instale.

Actualmente se instalan dispositivos electrónicos y las lecturas de consumos se emiten por radio. Esto ofrece muchas ventajas al usuario, como son:

- A. Que no sea necesario entrar en las viviendas y molestar al usuario.
- B. La no necesidad de realizar cableados entre las estancias de la vivienda.
- C. Evitar los ausentes en la lectura a la hora de la repartición de costes.

NOTA: Debe tenerse en cuenta que en el horizonte 2030 de la estrategia europea de eficiencia energética y en referencia a los derechos de los usuarios, todos los radiadores deberán estar equipados con repartidores de costes con lectura remota.

Los repartidores de costes constan, además, de un precinto para prevenir los fraudes. El sello o precinto tiene la misión de proteger la unidad contra manipulaciones no autorizadas.

La calibración de los repartidores de costes, del mismo modo que se hace con los contadores de consumos habituales, no es posible debido a que el repartidor no proporciona valores absolutos (por ejemplo, gigajulios, m³ de gas, litros de gasóleo o kWh). El sistema utilizado por los repartidores de costes es un sistema de proporciones.

En un sistema de proporciones, los valores registrados en los repartidores de cada radiador indican la cantidad de calor que han consumido los habitantes de un edificio o de una comunidad en relación con sus vecinos, ellos mismos y en relación del consumo total de todas las viviendas en esa comunidad.

Es importante que el repartidor de costes haya sido fabricado de acuerdo a los estándares de calidad europeos exigibles (que tenga marcado CE, que esté fabricado según la norma UNE EN 834, que tenga certificado de verificación firmado por un laboratorio independiente y homologado, etc.), y por otro lado, que el repartidor se instale bien (el 95% de los errores de medición y origen de quejas del vecino son debidos a una instalación deficiente), tema que se abordará más adelante.

El repartidor de costes que se instala actualmente consta de dos sensores y está preparado para medir la temperatura ambiente (o mejor dicho temperatura de la habitación). Esta medición extra hará más completa la toma de datos.

NOTA: Los repartidores de costes con dos sensores hacen una medida indirecta de la temperatura del ambiente (miden un valor intermedio en función de la temperatura en el radiador y la temperatura en el ambiente).

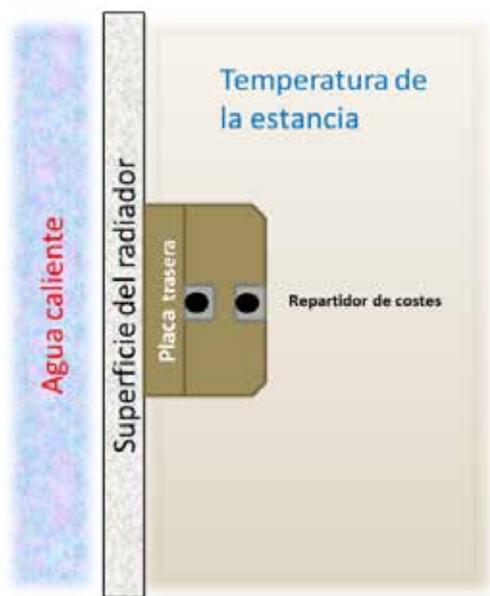


Figura 2.9. Repartidor de costes con dos sensores.

Si el radiador está cubierto por un cubre radiador, es evidente que la radiación de calor hacia la habitación encuentra un obstáculo. Por tanto, el ambiente dentro del cubre radiador tiene una temperatura mucho mayor que el resto de la habitación.

NOTA: Si los dos sensores estuvieran dentro del cubre radiador se estaría registrando una temperatura de la habitación mucho más elevada que la real (puesto que dentro del cubre radiador siempre hay mucha más temperatura que en la habitación).

En consecuencia, para medir correctamente, es necesario instalar un sensor remoto que mida la temperatura de la habitación, y no la de espacio cerrado donde el radiador se ubica. Tal y como indica la norma UNE EN 834, debe instalarse de forma externa.



Figura 2.10. Sensor remoto.

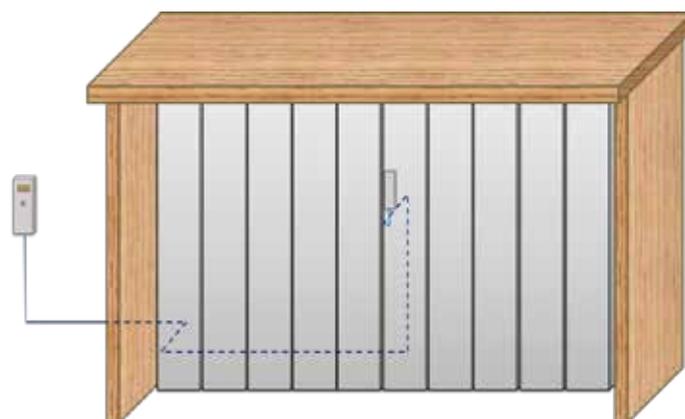


Figura 2.11. Esquema de instalación de un sensor remoto en un radiador con cubre radiador.

4.3 Instalación

La instalación del repartidor de costes es, básicamente:

- A. El proceso de montaje del repartidor sobre el radiador;
- B. La toma de las medidas y otros datos como el material y tipo del radiador;
- C. La determinación de otros parámetros necesarios para la posterior identificación del factor K del radiador.

La instalación de repartidores de costes es la fase más crítica y la que requiere mayor atención debido a que si la instalación no se realiza correctamente implicará que la identificación posterior del radiador (y por tanto del factor K asociado) y la propia medición del repartidor no será correcta (si éste no está instalado en la posición exacta determinada por el fabricante).

Por tanto, una deficiente instalación y/o toma de datos se acaba traduciendo en la causa principal de insatisfacción del usuario y, en dicho caso, una fuente obligada de reclamaciones a la empresa que suministra el servicio de lectura y facturación de los consumos de calefacción.

Para evitar situaciones no adecuadas y como garantía de calidad previa a la instalación de repartidores de costes, a la hora de seleccionar la empresa de servicios para la instalación, lectura y facturación de los consumos y consecuentemente (e indirectamente) el fabricante, existen una serie de cuestiones previas que la comunidad de propietarios debe plantearse.

En este sentido, es muy importante que el fabricante del repartidor aporte una amplia base de datos de radiadores en España y la información necesaria sobre el comportamiento de su repartidor en cada tipo y modelo de radiador.

NOTA 1: Si el fabricante del repartidor no aporta una base de datos suficientemente amplia, y el radiador concreto donde se instala no está en dicha base de datos, todo lo que habrá son

problemas a la hora de medir. Lo que ha pasado en muchos países de nuestro entorno es que se han instalado repartidores cuyo fabricante proviene de países con otra tipología de radiador, de forma que al instalarlos en radiadores no comunes en aquellos países, no es posible interpretar correctamente las mediciones.

NOTA 2: La base de datos de radiadores la construye cada fabricante en base a su experiencia, a lo largo de los años. Cada radiador nuevo debe ser testado. Por eso es tan importante confiar en un fabricante que tenga instalados una gran cantidad de repartidores y en una gran cantidad de países diferentes.

Desde el punto de vista de la verificación de los dispositivos, existen laboratorios independientes y homologados que son los que los certifican. No valen, por tanto, certificados emitidos y firmados por el propio fabricante. Estos laboratorios son los encargados de calcular los factores de corrección K que se aplican para calcular los consumos de cada radiador.

Desde el punto de vista de elementos auxiliares que aporten precisión a la medición, en caso de que el radiador esté cubierto por un cubre radiador o similar se deben utilizar sensores externos, como se ha comentado.

Se deben utilizar sensores externos en los casos en que el radiador esté cubierto total o parcialmente por cubre radiadores. Según la norma UNE EN 834 que regula este tipo de dispositivos, no existe ningún factor de corrección que resuelva los casos en que, por razones estéticas u otras, el radiador esté cubierto.

En lo que se refiere al instalador de los repartidores, es muy importante que sea un instalador autorizado por el fabricante para garantizar que cuenta con recursos humanos y técnicos suficientes.

NOTA 1: Sólo el fabricante tiene la necesaria información y la responsabilidad de disponer de cursos de formación adecuados para que el instalador garantice, mediante una instalación adecuada, que el repartidor va a medir correctamente.

NOTA 2: Existe una certificación específica de AENOR como garantía de calidad conforme al reglamento B75.01.

Debe tenerse en cuenta que el montaje correcto del repartidor de costes en el radiador no depende únicamente de la posición, existiendo otros factores necesarios.

La posición de montaje debe determinarse y hacerse efectiva conforme a las instrucciones del fabricante y siempre con el método de montaje determinado por el fabricante.

NOTA: En referencia a los métodos de montaje, el método es en la mayoría de los casos atornillado o soldado.

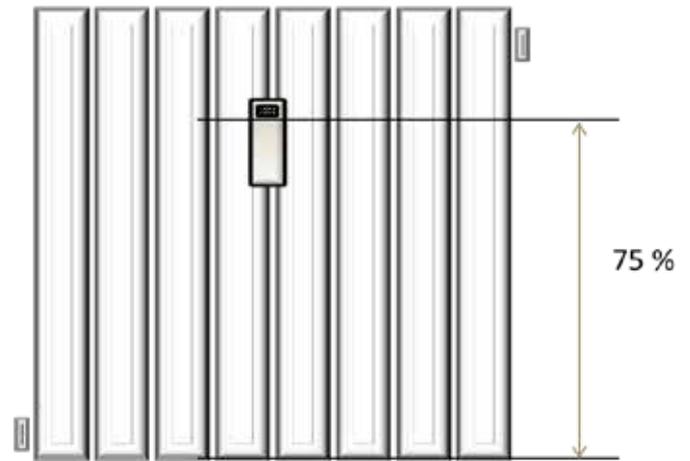


Figura 2.12. Altura típica de instalación del repartidor de costes en el radiador.

Cada repartidor de costes de calefacción está configurado y parametrizado, en base a lo que dicta la norma UNE-EN-834, en función de pruebas realizadas en laboratorios homologados, y en condiciones estándar de funcionamiento e instalación. Así, si un repartidor de costes no está instalado en la posición exacta conforme al modelo de radiador para el que está diseñado, no va a medir en las condiciones en las que está parametrizado y dará datos de lectura que serán procesados dando un resultado incorrecto.

4.4 Identificación y evaluación de radiadores coeficientes Kc

Un paso fundamental que se lleva a cabo durante la instalación física del repartidor es la identificación del radiador sobre el que va montado.

La identificación incorrecta del radiador provocará la siguiente asignación del factor K del radiador y, como consecuencia final, el consumo regulado será erróneo y por tanto la asignación del coste al radiador.

Así, el repartidor de costes se instala de forma diferente y, por lo tanto, mide de forma diferente en un radiador de aluminio, de chapa de acero o de hierro fundido, si es de placas o paneles, de cuántos elementos consta, cómo es su composición e incluso a qué características, dentro de un mismo fabricante y modelo, corresponde.

Los fabricantes de repartidores de costes agrupan los radiadores en diferentes categorías, a efectos de realizar una efectiva toma de datos por parte de los instaladores.

Uno de los factores de mayor influencia en el factor K son las medidas del radiador. Por tanto, un cálculo adecuado del factor K sólo puede hacerse cuando se tienen en cuenta tanto las medidas principales como las medidas (o parámetros) adicionales.

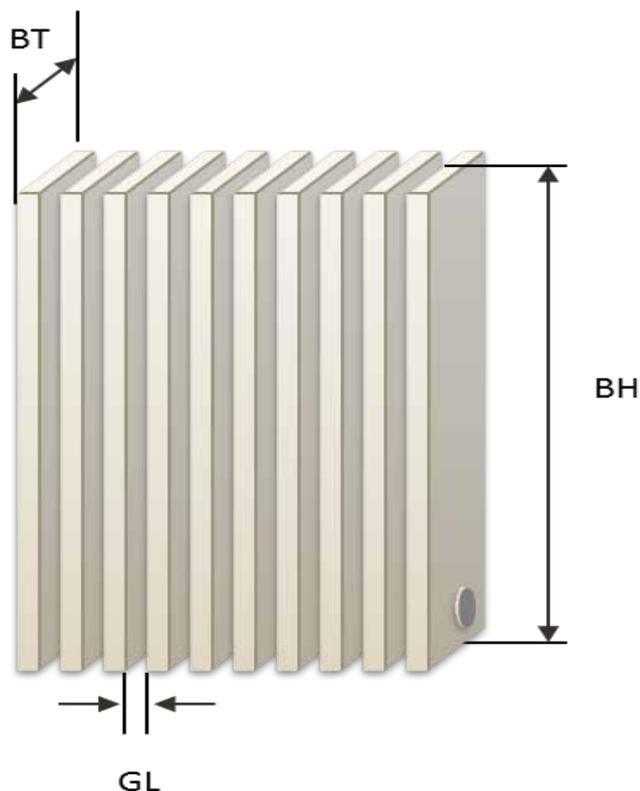


Figura 2.13. Detalle de las medidas típicas necesarias para la identificación del factor K.

4.5 Consumo medido

En el caso del repartidor de costes, éste ofrece un dato numérico entero, que es la lectura.

NOTA: Los repartidores de costes miden calefacción (por tanto en este apartado se aplican a dicho coste obviando en los cálculos de ejemplo la parte correspondiente al agua caliente sanitaria).

El consumo no regulado será la diferencia entre dos lecturas en el periodo considerado (habitualmente un mes en la temporada de calefacción):

$$\text{Consumo no regulado} = \text{Lectura actual} - \text{Lectura anterior}$$

Por tanto, la diferencia de lecturas entre dos periodos establece el número de unidades que deben ser utilizadas, esto es:

$$C_{\text{No Regulado}} = L_{\text{actual}} - L_{\text{anterior}}$$

Las unidades de consumo no reguladas son adimensionales. Es un error común pensar que los repartidores de costes miden en unidades de energía. No es correcto.

Los contadores de energía sí miden en unidades de energía (kWh), los repartidores de costes no.

EJEMPLO: Un repartidor tiene una lectura en pantalla de 428326 a fecha de 01.11.2017; pasado un periodo de facturación de un mes,

es decir, a fecha 01.12.2017, el valor es 429450; las unidades de contaje (o diferencia o consumo no regulado) serán:

$$U_c = 429450 - 428356 = 1094 \text{ Unidades de consumo no regulado}$$

El consumo regulado del radiador se define como el resultado de multiplicar las unidades de consumo registradas en cada repartidor de costes de calefacción (uno en cada radiador) por el valor K de facturación.

El primer factor de corrección (factor K, específico para cada radiador) multiplica las unidades de contaje dando lugar al consumo regulado del radiador:

$$\text{Consumo regulado} = \text{Consumo NO regulado} \cdot \text{Factor K}$$

EJEMPLO: Si un repartidor de costes tiene un consumo no regulado de 109,4 y el factor K que le corresponde es de 1.21; el consumo regulado de ese radiador será de:

$$U_{cR} = 109,4 \cdot 1,21 = 132,37 \text{ unidades de contaje}$$

Por tanto, la diferencia de lecturas que puede observarse en el display del repartidor de costes debe ser corregida por este factor.

El consumo regulado pertenecerá a un único radiador de cada vivienda. Para estimar las unidades de consumo reguladas de toda la vivienda debemos sumar las unidades de contaje de todos los radiadores de la vivienda, es decir:

$$U_{\text{CRT}} (\text{vivienda}) = U_{\text{C Radiador 1}} + U_{\text{C Radiador 2}} + U_{\text{C Radiador 3}} + \dots$$

Donde U_{CRT} es las unidades de consumo reguladas de la vivienda como la suma de todas las unidades de consumo reguladas de los repartidores de dicha vivienda corregidas por el factor K. U_{Ci} es el consumo regulado de cada radiador.

Si nos enfocamos en un edificio completo, las unidades de consumo regulado totales de dicho edificio serán la suma de todas las viviendas, es decir:

$$U_{\text{CT}} (\text{edificio}) = U_{\text{CT Vivienda 1}} + U_{\text{CT Vivienda 2}} + U_{\text{CT Vivienda 3}} + \dots$$

Para repartir el coste hay que calcular el porcentaje del total que deberá pagar cada radiador de una vivienda. Para ello, se emplea un método porcentual, esto es:

$$\% \text{ Radiador}_{1,1+} = \frac{U_{\text{C Radiador } 1,1}}{U_{\text{CRT}} (\text{edificio})}$$

$$\% \text{ Radiador}_{2,1+} = \frac{U_{\text{C Radiador } 2,1}}{U_{\text{CRT}} (\text{edificio})}$$

$$\% \text{ Radiador}_{N,1+} = \frac{U_{\text{C Radiador } N,1}}{U_{\text{CT}} (\text{edificio})}$$

Donde, % Radiador_{1,1} sería el porcentaje de las unidades de contaje que le corresponde al radiador 1 en la vivienda 1; U_C Radiador_{2,1} es el contaje del radiador 2 en la vivienda 1, etc. Esto debe aplicarse a todos los radiadores del edificio.

Como se ha comentado, el consumo regulado del radiador se define como el resultado de multiplicar las unidades de consumo registradas en cada repartidor de costes de calefacción (uno en cada radiador) por el valor K de facturación.

EJEMPLO: Si un repartidor de costes tiene un consumo regulado de 132,37 y el consumo regulado del edificio es 44320, entonces el porcentaje del consumo que le corresponde sería:

$$\text{Porcentaje del Radiador} = \frac{132,37}{44320} = 2,98 \%$$

5 HOMOLOGACIÓN DE INSTALADORES. SEGÚN AENOR B75.01

Conforme al reglamento B75.01 de AENOR, el plan de formación de los instaladores para su homologación debe ser el siguiente:

- A.** Sistemas de distribución de calefacción: en anillo y por columnas.
- B.** Qué es un repartidor. Tipos. Elementos.
- C.** Programación de un repartidor. Selección de Kc o utilización de Kc estándar.
- D.** Criterios de montaje: utilización de criterios generales (75-50) y casos especiales: repartidores de costes con sensor remoto.
- E.** Qué es un contador de energía. Tipos. Elementos.
- F.** Qué es un contador de ACS. Tipos. Elementos.
- G.** Qué es una válvula con cabezal termostático. Tipos. Elementos.
- H.** Criterios de montaje según el RITE.
- I.** Layout del montaje de los equipos.
- J.** Conocimientos para la correcta identificación del tipo y modelo del radiador.

NOTA: En este apartado se establecen los requisitos para homologar un instalador como profesional perteneciente a una empresa instaladora.

NOTA: El reglamento AENOR B75.01 indica que las empresas que deseen ostentar la marca N en Reparto de Costes de Calefacción

deben contratar obligatoriamente con empresas instaladoras que cuenten con profesionales homologados conforme a los requisitos del reglamento.

Se recomienda que la formación impartida por el fabricante conste de, al menos, 12 horas repartidas en dos jornadas. La formación debe acreditarse con certificado donde se incluya el temario descrito y carnet de homologación.

6 REPARTO DE COSTES

6.1 Distribución de los costes de calor

6.1.1 Medición del calor aportado al sistema de calefacción y ACS

En muchas ocasiones que aparecen en la práctica, la caldera central calienta tanto el circuito de calefacción como el circuito de agua caliente sanitaria, situación en la cual resulta más complicado diferenciar qué coste (combustible y mantenimiento) ha sido utilizado para cada finalidad.

Así, por ejemplo, en el caso en que los vecinos cuenten con calderas individuales para calentar el agua caliente sanitaria de sus viviendas, todos los gastos de la caldera están directamente repercutidos en la calefacción de la finca y el proceso se simplificaría, ya que el 100% del gasto de caldera se corresponde con calefacción.

Sin embargo, en las situaciones mencionadas, donde la caldera calienta para dos usos, para garantizar que el reparto de los costes de calefacción y ACS sea lo más justo y riguroso posible, es necesario instalar contadores que midan el consumo de ACS y de calefacción. Como alternativa, si dicha medición no fuera posible, se puede realizar una estimación para conocer qué porcentaje del coste anual del sistema de calefacción/agua caliente se repercute a cada uno de ellos. Si este es el caso, la empresa de servicios de lectura distribuye el coste siguiendo las instrucciones de la comunidad de propietarios en base a la experiencia acumulada en edificios similares, siendo los valores más encontrados en la práctica de 70/30.

NOTA: Si los gastos de calor son de 1700 €, y la comunidad de propietarios acuerda un porcentaje de 70/30; el gasto de calefacción será de $1700 \times 0.7 = 1190$ €; y la cantidad restante a agua caliente sanitaria.

Si se quiere alcanzar un desarrollo pleno de la eficiencia energética, se hace necesario equipar la caldera central con contadores de energía, para de esta forma, realizar el cálculo exacto del porcentaje (de energía) que se asignará a cada finalidad. Se colocaría, habitualmente, un contador en el circuito de agua caliente y otro en el circuito de calefacción. Esto permite calcular el % exacto a cada finalidad así como calcular el rendimiento completo de toda la instalación térmica.

NOTA: Si los gastos de calor son de 1700 €, y la comunidad de propietarios instala contadores de energía de forma que el contador situado en el circuito de calefacción indica un consumo de 2700 kWh y el de agua caliente indica 600 kWh, la distribución sería $600/(2700+600)=18\%$ para agua caliente y 82% para calefacción, esto es 306 € para agua caliente y 1394 € para calefacción.

6.1.2 Coste de agua caliente sanitaria

La medición se realiza mediante contadores volumétricos de agua caliente, equipando con un contador en cada vivienda, por tanto:

$$C_{m3} = L_{actual} - L_{anterior}$$

El precio unitario de agua caliente viene determinado por la comunidad de propietarios en base al histórico de precios y de consumos con un factor de seguridad para evitar que la comunidad no alcance la cantidad necesaria. Aunque con la instalación de contadores de energía y caudal a la salida de ACS de la caldera es posible obtener este dato de coste de manera empírica.

6.1.3 Coste fijo y variable en la distribución mediante contadores de energía en instalaciones en anillo y cálculo del precio unitario

Al ser una distribución en anillo, se instala un contador de energía por vivienda.

Los gastos de calefacción llevan dos partes, la fija y la variable de modo que:

$$\text{Gastos de Calefacción} = \text{Gastos fijos} + \text{Gastos Variables}$$

Los gastos fijos se reparten por coeficiente o por partes iguales, mientras que los costes variables serán los que se repartan con los consumos determinados por los contadores de energía.

NOTA 1: En el cálculo de costes fijos se considera el combustible utilizado por la caldera central, pérdidas en la distribución, radiadores en las zonas comunes y todas aquellas inversiones que haya que realizar durante el ejercicio, como mantenimiento, consumo eléctrico, limpieza de calderas, etc. Los costes fijos se reparten entre los vecinos por coeficiente o a partes iguales. Todos los vecinos deberán pagarlos al tratarse de costes no relacionados con el consumo individual de cada uno.

NOTA 2: En el ejemplo anterior, se deben repartir 1394 € para calefacción.

Los costes fijos (por ejemplo, 40% de 1394 €) de la instalación se reparten por coeficiente a cada vecino mientras que los costes variables (el resto, 60% de 1394 €, es decir 836,4 €) se repartirán en relación proporcional al consumo real, esto es, el consumo medido en un contador de una vivienda respecto a la suma de la medida de todos los contadores del edificio.

$$\text{Coste Variable Calefacción vivienda 1} = kWh_{vivienda 1} \cdot \text{Precio Unitario}_{calefacción}$$

$$\text{Coste Variable Calefacción vivienda 2} = kWh_{vivienda 2} \cdot \text{Precio Unitario}_{calefacción}$$

.....

$$\text{Coste Variable Calefacción vivienda N} = kWh_{vivienda N} \cdot \text{Precio Unitario}_{calefacción}$$

El precio unitario del kWh de calefacción habitualmente viene determinado por la comunidad de propietarios en base al histórico de precios y consumo con un factor de seguridad para evitar que la comunidad no alcance la cantidad necesaria. Aunque con la instalación de contadores de energía y caudal a la salida de calefacción de la caldera es posible obtener este dato de coste de manera empírica.

6.1.4 Coste fijo y variable en la distribución mediante repartidores de costes de la calefacción y cálculo del precio unitario

En la repartición con repartidores de costes será el precio de la unidad regulada de calefacción lo que deberá calcularse cada periodo para acometer los gastos de la comunidad en calefacción:

$$\text{Gastos de Calefacción} = \text{Gastos fijos} + \text{Gastos Variables}$$

Los gastos de calefacción (ya se ha descontado ACS) son un dato conocido que se integra en los sistemas informáticos de facturación de consumo (son cada una de las facturas de la recibe periódicamente comunidad de propietarios en el caso de gas natural y gasóleo), y está determinado de modo que los gastos fijos se corresponden con los gastos de mantenimiento del sistema de calefacción y una parte de los gastos de combustible, mientras que los gastos variables son los directamente relacionados con la energía (consumo de electricidad de las bombas e iluminación de la sala de calderas y consumo de combustible - gas o gasóleo).

NOTA: Este precio de la unidad regulada de calefacción no es constante y depende de los importes totales abonados en concepto de calefacción y, por tanto, de cada período de facturación (es decir, será diferente en enero que en marzo; asimismo, será diferente en cada temporada, es decir, será diferente en enero 2017 a enero 2018). Esta es una diferencia fundamental con los sistemas de reparto por contador (agua caliente / energía).

EJEMPLO: Una caldera de calefacción central ha tenido los siguientes gastos para la comunidad (combustible: 10.000 €, electricidad: 300 € y mantenimiento: 500 €).

Los costes fijos (por ejemplo, 40% de 10.800 €) de la instalación se reparten por coeficiente a cada vecino mientras que

los costes variables (el resto, 60% de 10.800 €, es decir 6.480 €) se repartirán en base al consumo real, siendo éste la suma de los consumos medidos por los contadores. Si, por ejemplo, el consumo en calefacción del edificio son 20.000 unidades de calefacción, entonces:

$$\text{Precio de la unidad reguladora} = \frac{6.480 \text{ €}}{20.000 \text{ Unidades}} = 0,324 \text{ €} \frac{\text{€}}{\text{Unidad de consumo}}$$

Si para el repartidor de costes visto en los ejemplos anteriores tenemos un consumo regulado de 132,37 unidades reguladas y el precio de la unidad regulada es de 0,324, el importe a pagar será:

$$\text{Importe a pagar por radiador salón,} = 132,37 \cdot 0,324 = 42,88 \text{ €}$$

El importe a pagar por la vivienda será el total que le corresponde de todos los radiadores de su vivienda más la parte de coeficiente de coste fijo.

6.2 El recibo de calefacción

Conforme al Real Decreto 736/2020, la liquidación de consumo debe estar disponible con toda la información requerida, tanto en papel como en formato electrónico y debe identificar al menos los siguientes datos mínimos (adicionalmente a los datos lógicos identificativos del abonado y recibo, así como las direcciones necesarias por trazabilidad):

- A. Periodo de lectura.
- B. Días comprendidos en el periodo facturado.
- C. Fecha de lectura.
- D. Fecha de emisión de la liquidación.
- E. Identificador del repartidor, incluyendo: zona, lectura, lectura anterior, lectura del período y consumo una vez aplicado el factor K.
- F. Número de serie del repartidor.
- G. Gastos totales a repartir, divididos entre gastos fijos y variables.
- H. Criterio de reparto de gastos fijos.
- I. Teléfono de información.
- J. Los precios reales actuales y el consumo real de energía o el coste total de calefacción y las lecturas de los repartidores de costes de calefacción.
- K. Información sobre el mix de combustible utilizado y las emisiones anuales correspondientes de gases de efecto invernadero, incluidos los usuarios finales suministra-

dos por calefacción y/o refrigeración urbana de más de 20 MW. Asimismo, una descripción de los diferentes impuestos, gravámenes y tarifas aplicadas.

- L. Comparaciones del consumo de energía actual del usuario final con su consumo del mismo período del año anterior, preferentemente en forma gráfica, con corrección climática para calefacción y refrigeración.
- M. La información de contacto de las organizaciones de clientes finales, las agencias de energía u organismos similares, incluidas sus direcciones de internet, donde se puede obtener información sobre las medidas disponibles de mejora de la eficiencia energética, los perfiles comparativos del usuario final y las especificaciones técnicas objetivas de los equipos que utilizan energía, así como información sobre gestión de reclamaciones.

Además, siempre que sea posible, en sus liquidaciones, o acompañando a esta documentación, se señalará o se facilitará a los clientes finales, de manera clara y comprensible, información comparativa con un cliente final medio, normalizado o utilizado como referencia comparativa, de la misma categoría de usuario.

- N. En caso de liquidaciones no basadas en lecturas reales, éstas deberán contener una explicación clara sobre cómo ha sido calculada dicha liquidación incluyendo, al menos, la información referida en el apartado anterior.

6.2.1 Frecuencia de emisión

La frecuencia de emisión del recibo de calefacción se centra en el período de calefacción (normalmente de octubre a abril). Según el RD 736/2020 las liquidaciones deben realizarse mensualmente siempre que los dispositivos sean de lectura remota, durante el periodo de calefacción. Si los dispositivos de medición fueran de lectura manual, la emisión de los recibos de calefacción podrá ser cada dos meses.

En cualquier caso, en España la práctica totalidad de los repartidores de costes instalados son de lectura remota. En cuanto a los contadores de calefacción, deberán ser sustituidos por otros de lectura remota antes del 1 de enero de 2027.

Dichas liquidaciones podrán ser resultado del reparto de los costes reales de calefacción del edificio, o liquidaciones informativas, que se regularizarán en base a los costes reales con una periodicidad al menos anual.

■ CAPÍTULO 3

EQUIPOS DE PRODUCCIÓN —



3.1 CALEFACCIÓN Y ACS

3.1.1 Equipos de producción de calefacción y ACS

Si hablamos de generadores de calor para calefacción y agua caliente, estamos hablando principalmente de calderas. Las calderas son equipos en los que un combustible es transformado en calor mediante la combustión. Ese calor es transmitido en el interior de la caldera al fluido caloportador, que en este tipo de instalaciones suele ser agua.

Las partes principales de una caldera son:

- Hogar.
- Quemador.
- PDC (productos de a combustión, humo).
- Intercambiador de calor.
- Fluido caloportador.
- Chimenea.

En el hogar de la caldera se aloja la combustión del quemador. El quemador es el encargado de hacer la mezcla de combustible y comburente para producir la reacción de combustión. El humo generado por la combustión es el fluido que transmitirá el calor de la reacción de combustión al fluido caloportador a través del intercambiador de calor (humos/fluido caloportador). El humo de la combustión, una vez que ha dejado la mayor parte del calor que contiene en el intercambiador, abandona la caldera a través de la chimenea.

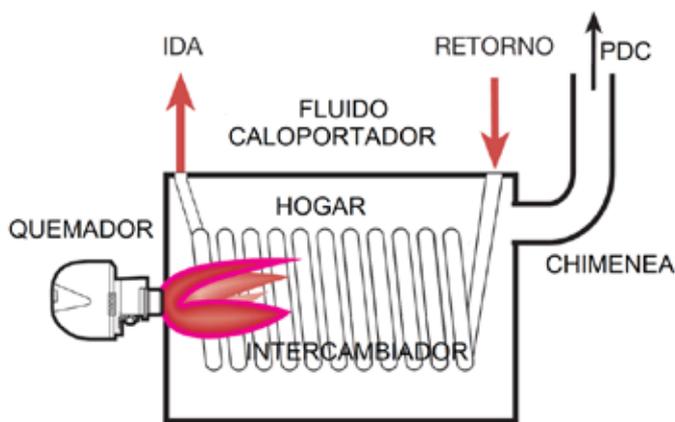


Figura 3.1 Esquema de calentador de combustión.

Las calderas pueden catalogarse o clasificarse desde muchos puntos de vista, pero nos vamos a centrar en el que seguramente es el más importante, por la temperatura de humos.

3.1.2 Clasificación por temperatura de humos

La temperatura de salida del humo de la caldera es uno de los puntos más importantes en el diseño de la misma. Los PDC (humos) de las calderas contienen básicamente CO₂ y vapor de agua:

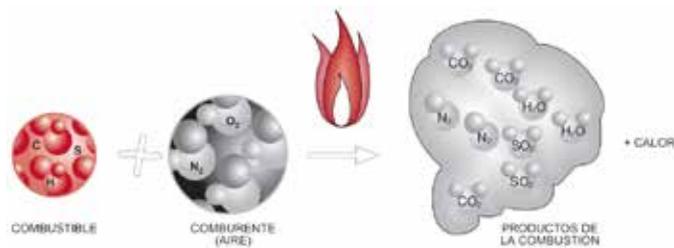


Figura 3.2 Esquema de una combustión de hidrocarburos.

Dependiendo de la temperatura que finalmente alcance el humo de la caldera, el agua contenida condensará y se convertirá en agua líquida. La capacidad de soportar la presencia de agua líquida en el hogar de la caldera es la principal diferencia de las calderas de esta clasificación.

- I. **CALDERA ESTÁNDAR:** Caldera cuya temperatura media de funcionamiento puede limitarse a partir de su diseño. Este tipo de calderas no están previstas para resistir la eventual condensación del vapor de agua contenido en los gases de combustión, por lo que los humos deben salir a una temperatura relativamente alta. En estas calderas no se podrá aprovechar nunca al máximo el poder calorífico del combustible, por lo que sus rendimientos serán los más bajos.
- II. **CALDERA DE BAJA TEMPERATURA:** Caldera que puede funcionar continuamente con una temperatura de agua de alimentación (retorno) de 35° a 40°C y que, en determinadas circunstancias, puede producir condensación. Los materiales empleados en el intercambiador, cámara de combustión y quemadores son resistentes a la corrosión que pudieran provocar los condensados.
- III. **CALDERA DE CONDENSACIÓN:** Caldera diseñada para poder condensar de forma permanente una parte importante de los vapores de agua contenidos en los gases de combustión. En estas calderas no hay límite de temperatura para los PDC de la caldera. Esto nos permite en estas calderas llegar a los límites máximos de eficiencia en la combustión.

La Directiva 92/42/CEE relativa a los requisitos de rendimientos instantáneos de calderas de 4 a 400 kW de gas o gasóleo establece unos rendimientos mínimos de calderas en función de su tipología y de su gasto nominal (Pn). Este requisito de rendimiento mínimo se exige 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.

- En la tabla adjunta se reflejan los rendimientos mínimos exigidos por la Directiva en función del tipo de caldera (estándar, baja temperatura o condensación). Como puede apreciarse, la expresión del rendimiento mínimo utiliza el logaritmo en base 10 (log) del gasto:

Tabla 3.1 Rendimientos mínimos exigidos en función del tipo de caldera.

Tipo de caldera	Potencia Nominal		Carga parcial	
	tm (°C)	Rendimiento mínimo	tm (°C)	Rendimiento mínimo
ESTANDAR	70	$84 + 2\log P_n$	≥ 50	$80 + 3\log P_n$
BAJA TEMPERATURA	70	$87,5 + 1,5\log P_n$	40	$87,5 + 1,5\log P_n$
CONDENSACIÓN	70	$91 + \log P_n$	30 (*)	$97 + \log P_n$

(*) Temperatura de retorno

3.1.3 Normativa

Dentro de las normas que afectan a las calderas de gas y de gasóleo nos vamos a centrar en las dos más relevantes:

I. Reglamento de Ecodiseño (ErP)

Los Reglamentos Delegados de la UE 811/812 de 2012 establecen los criterios de Ecodiseño (ErP) para los equipos generadores de calor para la producción de calefacción y de ACS hasta los 400 kW de potencia y los 2000 litros de acumulación. Estos reglamentos establecen los niveles mínimos de eficiencia y las emisiones máximas de NO_x para los equipos que queman combustibles fósiles líquidos y gaseosos. Se trata de un reglamento para los fabricantes de calderas, los equipos que no cumplen esta norma no pueden ser puestos en el mercado.

Respecto a la eficiencia, la ErP establece un rendimiento diferente para los equipos en el ACS y en la calefacción. Las calderas que se utilizan en instalaciones centralizadas son calderas con un único circuito de agua. Aunque las instalaciones tengan servicio de calefacción y de ACS, los generadores de calor en este tipo de instalaciones sólo tienen definido el rendimiento para calefacción.

Requisitos de rendimiento para calefacción

La norma ErP hace una distinción entre los equipos de menos de 70 kW y los que llegan a los 400 kW.

Tabla 3.2. Rendimiento mínimo exigido en función de la potencia para calefacción.

Calderas de gas o gasóleo ≤ 70 kW	(Rendimiento estacional respecto a PCS) $\eta_s \geq 86\%$
Calderas de gas o gasóleo > 70 kW y ≤ 400 kW	(Rendimiento instantáneo respecto a PCS) $\eta (100\%) \geq 86\%$ $\eta (30\%) \geq 94\%$

En el caso de las calderas de menos potencia ($P < 70$ kW), el cálculo del rendimiento estacional se calcula mediante la fórmula:

$$\eta_s = \eta_{son} - \sum F(i)$$

Donde el η_{son} es el rendimiento estacional en modo activo. Es decir, el rendimiento que tendría la caldera en caso de estar funcionando de manera continua sin arrancadas ni paradas. Los F(i) son diversos factores de corrección que reducen el rendimiento estacional de la caldera.

Para el caso de las calderas de combustibles fósiles, el rendimiento estacional en modo activo se calcula como una media ponderada de los rendimientos instantáneos a mínima y máxima potencia. Se observa claramente cómo el rendimiento a mínima potencia es el que más peso tiene de los dos:

$$\eta_{son} = 0,85 \times \eta_{min} + 0,15 \times \eta_{max}$$

A diferencia de lo que se había hecho hasta entonces, y de lo que se establece en otras normas, para los cálculos de la ErP se tiene que utilizar como referencia el Poder Calorífico Superior del combustible.

Haciendo cuentas con los valores habituales de rendimientos de las calderas de combustibles fósiles, y sobre todo referenciando los mismos respecto al PCS del combustible, es fácil darse cuenta que el requerimiento del 86% de rendimiento estacional es muy alto. En el caso de las calderas de gas natural o propano, donde la diferencia entre el PCI y el PCS es grande, este requerimiento obliga indirectamente a utilizar calderas de condensación.

Para las calderas de entre 70 y 400 kW, la ErP establece un criterio diferente, exige un 86% de rendimiento instantáneo al 100% de potencia del equipo y un 94% a carga parcial del 30%. Este rendimiento del 94% con respecto al PCS sólo puede obtenerse con calderas de condensación, esta vez tanto en gas como en gasóleo.

II. Reglamento de Instalaciones Térmicas (RITE)

La última modificación del RITE del año 2013 establecía una serie de requerimientos de rendimiento a las calderas. Estos requisitos eran diferentes para el caso de instalaciones en obra nueva o en reformas de edificios ya existentes (IT 1.2.4.1.2).

Tabla 3.3 Requisitos de rendimientos mínimos de las calderas.

	Gas	Gasóleo
Obra nueva	Todas las calderas (Rendimiento instantáneo respecto PCS) η (100% y 70° C): $\eta \geq 90 + 2 \log P_n$ η (30% y 30° C): $\eta \geq 97 + \log P_n$	Calderas estándar (Rendimiento instantáneo respecto PCS) η (100% y 70° C): $\eta \geq 90 + 2 \log P_n$ η (30% y 50° C): $\eta \geq 86 + 3 \log P_n$
	Calderas estándar (Rendimiento instantáneo respecto PCS) η (100% y 70° C): $\eta \geq 90 + 2 \log P_n$ η (30% y 50° C): $\eta \geq 86 + 3 \log P_n$	Calderas estándar (Rendimiento instantáneo respecto PCS) η (100% y 70° C): $\eta \geq 90 + 2 \log P_n$ η (30% y 50° C): $\eta \geq 86 + 3 \log P_n$

Como resumen, se podría decir que para las calderas de gas en obra nueva y para cualquier potencia, se exige un rendimiento para carga parcial del 30% que está dentro de la definición de calderas de condensación.

En cambio, para el gas en reformas y el gasóleo en cualquier circunstancia, se exige un rendimiento sólo a las calderas estándar (calderas que trabajan a alta temperatura) equivalente a las antiguas 3 estrellas. Las demás tipologías de calderas (baja temperatura y condensación) no tienen ninguna exigencia adicional por parte del RITE.

Hay que recordar que el RITE es un reglamento de instalación y el reglamento de ecodiseño (ErP) es un reglamento de fabricación de equipos. Es decir, que por mucho que el RITE permita la instalación de calderas estándar o de baja temperatura en algunos supuestos, si estos equipos no se pueden fabricar difícilmente podrán ser instalados.

Se puede decir entonces como resumen, que para instalaciones centralizadas con equipos de entre 70 y 400 kW de potencia, serán de condensación tanto para gas como para gasóleo. Para potencias por encima de los 400 kW y, por lo tanto, fuera del ámbito de aplicación de la ErP, se podrán utilizar los equipos que establece el RITE. En el caso de obra nueva, siempre que las calderas sean de gas, deberán ser de condensación. Para el res-

to de los casos, si las calderas son estándar deberán tener como poco el rendimiento establecido en la IT 1.2.4.1.2 del RITE.

Todo esto indica claramente que la tecnología más utilizada para calderas centralizadas es la de condensación.

Por otro lado, en la actualidad, la mayor parte de las instalaciones centralizadas que se realizan, sobre todo en grandes ciudades, lo hacen con calderas de gas. La combustión con gas emite menos contaminantes y, por ello, ayuda a contener el fenómeno de contaminación por polución en las ciudades.

Con todas estas razones, se puede asegurar que la mayor parte de las instalaciones centralizadas que se realizan para calefacción y ACS en estos momentos se hacen con calderas de gas de condensación.

3.1.4 Calderas de gas de condensación

Puede establecerse una clasificación de las calderas de condensación en función de la posición o integración del condensador dentro del conjunto de intercambio térmico.

En base a esto, se pueden distinguir dos tipos básicos:

- I. Caldera de condensación con condensador/recuperador separado.
- II. Caldera de condensación con condensador integrado.

I. Caldera con condensador/recuperador separado

Se trata de una aplicación consistente en utilizar un recuperador o condensador de humos montado en serie con una caldera tradicional. Este condensador se sitúa en el circuito de humos, a continuación de la caldera, y permite enfriar los productos de la combustión que salen de la misma hasta su temperatura de rocío.

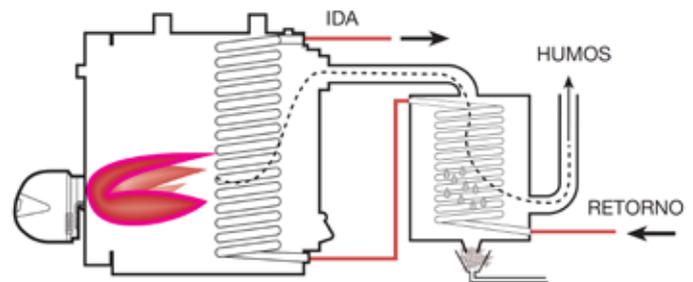


Figura 3.3. Esquema de caldera con condensador/recuperador separado

En las aplicaciones habituales, el retorno de la instalación entra en la zona inferior del recuperador y circula en contracorriente con los humos para conseguir un intercambio de calor humos/agua elevado. El agua en la salida del condensador se conecta al cuerpo de la caldera, en donde entra como retorno a una temperatura adecuada al tipo de caldera empleada (ha-

bitualmente se emplean calderas de baja temperatura, por lo que el retorno a la misma puede ser de unos 40° C).

Esta técnica puede utilizarse para transformar una caldera clásica presurizada en una caldera de condensación, dependiendo el rendimiento final del conjunto de la superficie de intercambio del condensador.

Los tipos de condensadores empleados varían en función del tipo de superficie de intercambio humos/agua aplicada. En este sentido, se emplean:

- a. Tubos de aluminio (con o sin aletas). Suele emplearse una aleación aluminio-silicio (una habitual es Al Mg Si 0,5) que presenta una buena resistencia a la corrosión.

En algunos casos se emplean en un mismo condensador tubos con y sin aletas, utilizándose los tubos aleteados en la zona inicial, donde la temperatura de humos es más elevada. El motivo es incrementar el intercambio de calor en una zona en donde los humos aún no condensan.

La disposición suele ser con los tubos transversales al flujo de humos, circulando el agua por el interior de los mismos.

- b. Tubos de acero inoxidable. Es una disposición similar a la de los tubos de aluminio, pudiendo incorporar aletas o no. En alguna ejecución se utilizan tubos de acero inoxidable sobre los que se practica alguna deformación de cara a provocar turbulencias en la circulación interna del agua, incrementando su coeficiente de transmisión de calor.

- c. Serpentin de tubo de acero inoxidable. Se trata de un tubo de sección rectangular que se conforma a modo de espira y por cuyo interior circula el agua. El paso de humos se efectúa desde el interior al exterior por el estrecho paso libre entre espiras. El reducido paso de humos obliga en este tramo a un contacto de los productos de combustión con la pared del tubo, reduciendo su temperatura muy rápidamente hasta su punto de rocío. Tal y como se desarrolla más adelante, esta misma ejecución es utilizada alternativamente como conjunto caldera compacto incorporando un quemador interno.

Además de los tipos más comunes indicados, la proliferación de calderas de condensación en los últimos tiempos, ha supuesto la aparición de soluciones diversas, distintas de las anteriores. En este sentido, pueden encontrarse alternativas, como tubos con recubrimiento interior cerámico, serpientes de tubo aleteado, placas de acero inoxidable, etc.

En este tipo de calderas, el condensador puede ser totalmente externo a la caldera (incluso de suministro por un fabricante

diferente al de la propia caldera) o bien integrado dentro de la carcasa o envolvente de la caldera.

Desde el punto de vista de circulación de humos, el paso de éstos por el condensador supone una pérdida de carga adicional sobre la correspondiente al circuito de humos de la caldera. Por este motivo, para calderas presurizadas, el quemador incorporado deberá aportar una presión suficiente para vencerla.

Para el caso de calderas atmosféricas, el empleo de esta técnica supone la eliminación del cortatiro y la adición de un extractor de humos a la salida del condensador.

Desde el punto de vista de transmisión de calor, la circulación en contracorriente humos/agua a lo largo de toda la superficie de intercambio del condensador, provoca un salto térmico importante en la temperatura de los humos. La temperatura de humos a la salida de la caldera puede situarse en 180-200° C, saliendo del recuperador de calor a la temperatura de rocío. En el circuito de agua, el salto térmico es mucho menor (tan solo 2- 3° C) correspondientes al calor latente captado por los humos considerando el caudal de agua circulante.

II. Caldera con condensador integrado

Este tipo de solución comporta un único cuerpo de intercambio en el cual la superficie está sobredimensionada en comparación con una caldera clásica. La condensación implica generalmente una concepción particular de caldera debido a la necesidad de evacuar los condensados sin perturbar la combustión. En este sentido, son típicas las aplicaciones en las cuales el quemador se sitúa en la parte superior del intercambiador y los humos establecen un circuito descendente, evacuándose los condensados por la parte inferior.

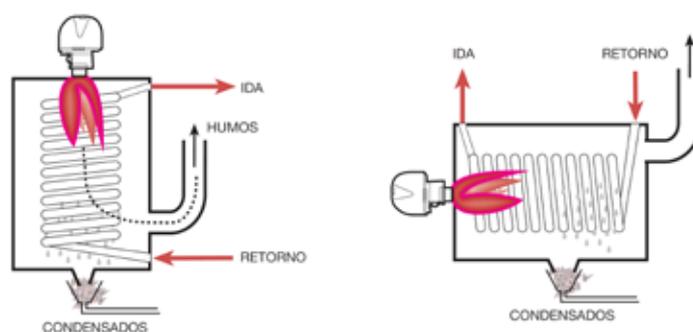


Figura 3.4 Esquema de caldera con condensador integrado

Existen distintas variantes constructivas para este tipo de calderas de condensación, diferenciadas básicamente por el material empleado en el cuerpo de intercambio. En este sentido, se pueden diferenciar dos tipos básicos de calderas: calderas con cuerpo de aluminio y calderas con cuerpo de acero inoxidable.

- a. Las calderas de aluminio están construidas en aleaciones de aluminio-silicio que presentan una buena resistencia a la corrosión a la vez de una buena con-

ductividad térmica. La aleación más comúnmente empleada es Al Si 10 Mg, que combina las propiedades de resistencia a la corrosión con una buena maquinabilidad.

Las calderas de pie de alta potencia están constituidas por elementos, en un modo similar a una caldera tradicional, pero con circuito de humos invertido con respecto a éstas (quemador superior y salida de humos inferior).

Las calderas murales pueden estar constituidas por un cuerpo de intercambio monobloque, pero manteniendo el mismo principio de quemador superior y salida de humos inferior.

En ambos casos, el circuito de humos está configurado por gran número de tetones que conforman un circuito sinuoso con una gran superficie de intercambio. A medida que los humos descienden en contacto con la superficie de tetones, reducen progresivamente su temperatura hasta alcanzar la temperatura de rocío, momento a partir del cual inician la condensación. La cantidad de tetones aumenta a medida que los humos descienden y reducen su temperatura, de cara a aumentar su superficie de intercambio.

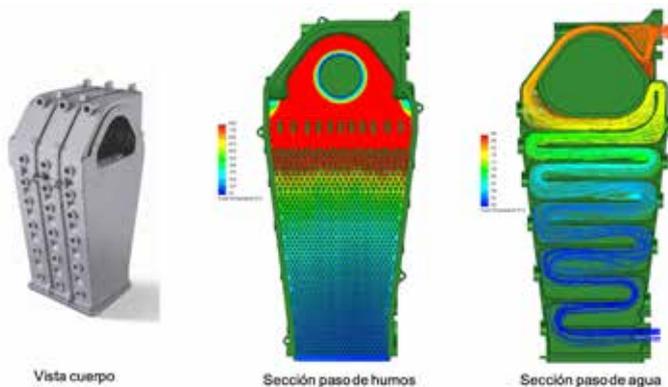


Figura 3.5 Esquema de intercambio de calor. Cortes de diferentes secciones.

Los condensados escurren a través de la superficie de tetones para ir a desembocar en un colector de condensados en la parte inferior del cuerpo de intercambio. Desde aquí son conducidos al exterior de la caldera, habitualmente a través de un sifón o cierre hidráulico intermedio. Las paredes del intercambiador de Al-Si tienen un espesor mínimo de unos 4 mm y la incorporación del silicio en la aleación tiene por objeto mejorar la resistencia a la corrosión. En este sentido, se comprueba que tras aproximadamente 1 o 2 años de funcionamiento, se forma una capa superficial de óxido de silicio que forma una barrera protectora frente a posibles oxidaciones del material interno.

b. En cuanto a las calderas de acero, existen diferentes ejecuciones en el mercado. En calderas de baja

potencia y murales, el sistema más extendido es el intercambiador tipo serpentín. Básicamente, se trata de un intercambiador conformado en base a un serpentín de acero inoxidable de sección aproximadamente rectangular. Este serpentín conforma una cámara de combustión de sección circular dejando un paso de humos entre espiras de unos 2 mm. Este estrechamiento obliga a un contacto humos / acero en unas condiciones que provocan un rapidísimo descenso de la temperatura de humos hasta su punto de rocío.

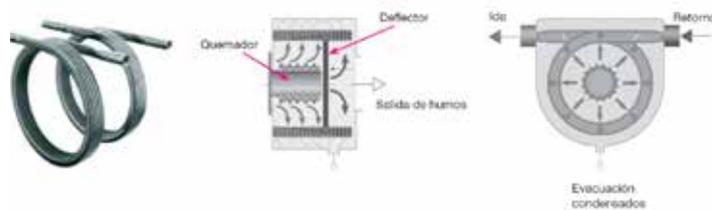


Figura 3.6 Serpentín de una caldera de condensación.

El serpentín está contenido en una cámara cerrada de acero inoxidable o plástico técnico, con una salida de condensados inferior y una salida de humos posterior.

Este tipo de aplicación surgió inicialmente como una solución para calderas murales de baja potencia, pero su aceptación en el mercado la ha hecho evolucionar hacia potencias elevadas basadas en la adición de espiras en el cuerpo de intercambio o el montaje de dos serpentines en paralelo, obteniéndose potencias de hasta 150 kW.

En cuanto a calderas murales o de baja potencia, otras soluciones minoritarias en el mercado pasan por serpentines aleteados dentro de una cámara (habitualmente cilíndrica) que incorpora el quemador, pasos de humos aleteados en un cuerpo de aluminio, etc.

3.1.5 Tipos de instalaciones

Dependiendo del tipo y potencia de las instalaciones, los generadores de calor se pueden instalar de formas diferentes.

I. Un solo generador para calefacción y ACS

a. Con dos circuladores

Este esquema se da en instalaciones pequeñas, con un único generador de calor para los dos servicios. El circulador de cada circuito se encenderá si se tiene demanda de calefacción o agua caliente. La caldera tomará como temperatura de consigna la más alta de ambos circuitos. En caso de necesitar tener un circuito de calefacción trabajando a temperatura más baja, se deberá instalar una válvula mezcladora. Disponer de un circulador para calefacción y otro para agua caliente tiene varias ventajas:

- Si se tiene potencia suficiente, se puede trabajar simultáneamente en calefacción y en la preparación de agua caliente.

El circulador de cada circuito (calefacción y agua caliente) puede seleccionarse para ajustarse a las necesidades del servicio que dan.

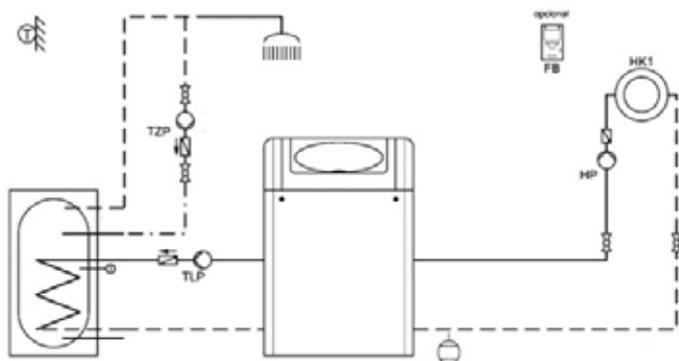


Figura 3.7 Esquema de un generador para ACS y calefacción con dos circuladores.

b. Con un circulador y válvula desviadora

Este es un esquema aún más simple que el anterior. Con un solo generador de calor, también se tiene una sola bomba circuladora que funcionará siempre que lo haga la caldera. Una válvula desviadora determinará si se tiene servicio de calefacción o de agua caliente. El servicio de agua caliente siempre es prioritario. Cuando el generador de calor calienta el acumulador de ACS no dará servicio al circuito de calefacción. Este circuito, pese a ser más simple y sencillo de instalar, presenta dos inconvenientes:

- Sólo se puede dar un servicio al mismo tiempo.
- La bomba circuladora debe dimensionarse para el circuito más exigente.

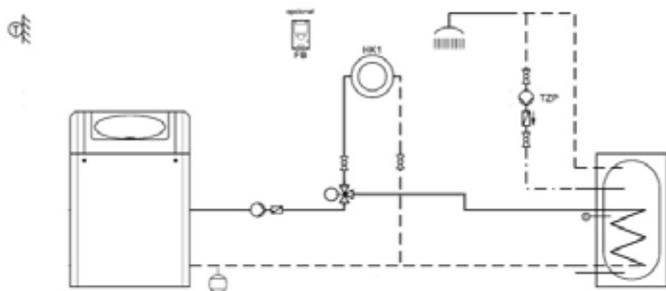


Figura 3.8 Esquema de un generador para ACS y calefacción con circulador y válvula desviadora.

c. Varios generadores

Las cascadas de calderas son muy habituales en las instalaciones centralizadas de ACS y calefacción. Dividir el generador de calor en varias unidades puede dar muchas ventajas:

- Mayor capacidad de modulación. Permite que la potencia de generación se adapte en cada momento a la potencia demandada en la instalación.
- Facilidad de instalación. La instalación de grandes calderas en muchas ocasiones supone un hándicap difícil de superar, sobre todo en la reforma de instalaciones. Una cascada de calderas está compuesta de varias calderas de menor potencia, más fáciles de ubicar y de instalar en la sala de calderas.
- Mayor fiabilidad de la instalación. Tener varias calderas en paralelo permite prescindir de alguna de ellas en caso de avería sin dejar de dar servicio. La máxima potencia de la instalación sólo es necesaria en pocas ocasiones, por lo que una avería en una unidad de una cascada de calderas raramente impide dar el confort total de la instalación.

Cuando se habla de cascadas de calderas, es importante determinar el criterio de encendidos y apagados de las unidades que la componen. Existen básicamente tres estrategias utilizadas en las cascadas de calderas:

II. Encendido tarde, apagado pronto

Tal y como indica su denominación, en esta estrategia la siguiente caldera siempre tarda en encenderse, es decir, se aumenta la potencia de cada caldera encendida hasta el máximo, antes de encender la siguiente. En la desconexión es al contrario, en cuanto se puede se apagan las calderas que no estén operando a su máxima modulación. Con esta estrategia se consigue:

- Tener el menor número de calderas encendidas a la máxima potencia posible.
- Es la mejor opción para las calderas estándar o de baja temperatura, que requieren trabajar a la mayor potencia y temperatura posible para dar su mayor eficacia.

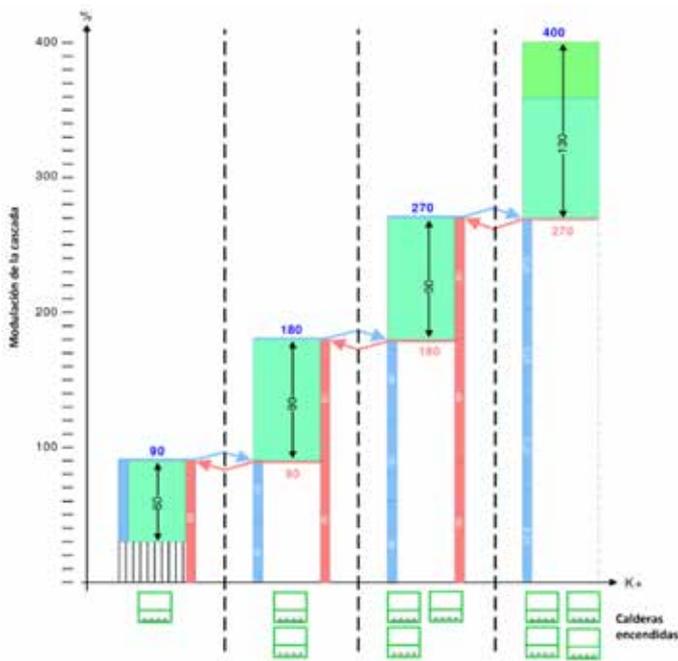


Figura 3.9 Gráfica con el número de calderas encendidas y la modulación de la cascada. Sistema de encendido tarde, apagado pronto.

III. Encendido pronto, apagado tarde

En este caso, la siguiente caldera en la cascada se enciende antes de que la anterior llegue a su máxima potencia, de manera que es fácil que todas las unidades estén encendidas a su mínima potencia. En la desconexión es lo contrario, se intenta reducir la potencia de todas las unidades antes de desconectar una de ellas. Con esta estrategia se consigue:

- Tener el mayor número posible de calderas encendidas a la mínima potencia.
- Es la mejor opción para las calderas de condensación, ya que permite trabajar a las calderas con la menor potencia y temperatura posible, que es donde mejor rendimiento tienen estos equipos.

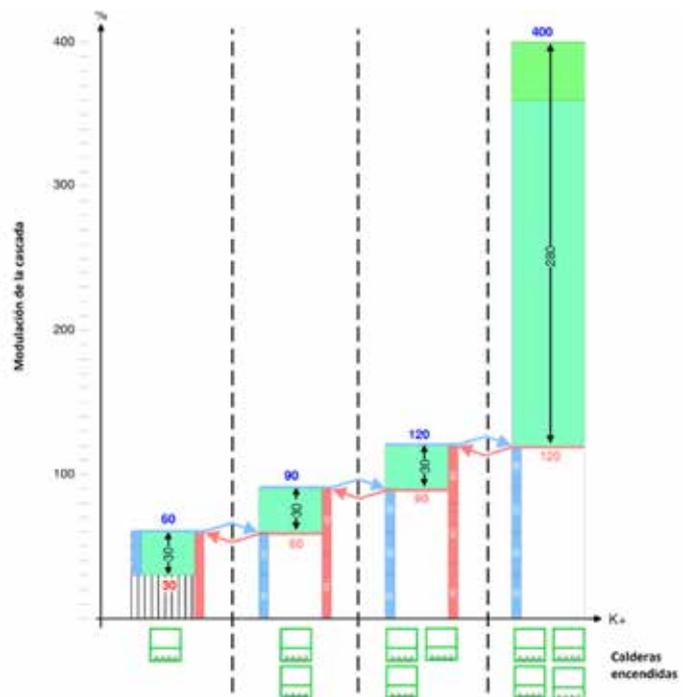


Figura 3.10 Gráfica con el número de calderas encendidas y la modulación de la cascada. Sistema de encendido pronto, apagado tarde.

IV. Encendido tarde, apagado tarde

Es una opción intermedia a las dos anteriores. Tiene como principal objetivo reducir el número de encendidos de una cascada de calderas. Se tarda mucho en encender una unidad, pero también en desconectarla. Esta estrategia se utiliza en instalaciones en las que se ha sobredimensionado el generador de calor y, en la práctica, se observan muchos ciclos de encendido y apagado.

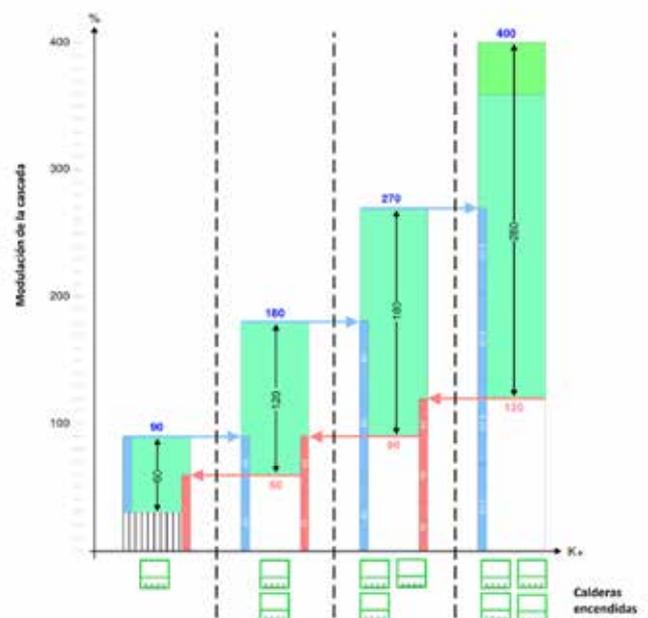


Figura 3.11 Gráfica con el número de calderas encendidas y la modulación de la cascada. Sistema de encendido tarde, apagado tarde.

V. Cascadas con una caldera para ACS

En este esquema se tienen varias calderas trabajando en paralelo. Todas las calderas pueden trabajar sobre el circuito de calefacción. Una de las calderas en cascada tiene una válvula desviadora para alimentar el circuito primario de producción de ACS. Esa caldera es la única encargada para el servicio de agua caliente. Este esquema tiene varias características a destacar:

- Es el esquema recomendado cuando hay mucha diferencia entre la potencia necesaria en calefacción y ACS.

- Puede dar ambos servicios simultáneamente.
- Fuera de temporada de calefacción, la instalación se reduce sólo al circuito de ACS, lo que evita pérdidas de calor.
- Recomendado para calderas estándar y de baja temperatura.

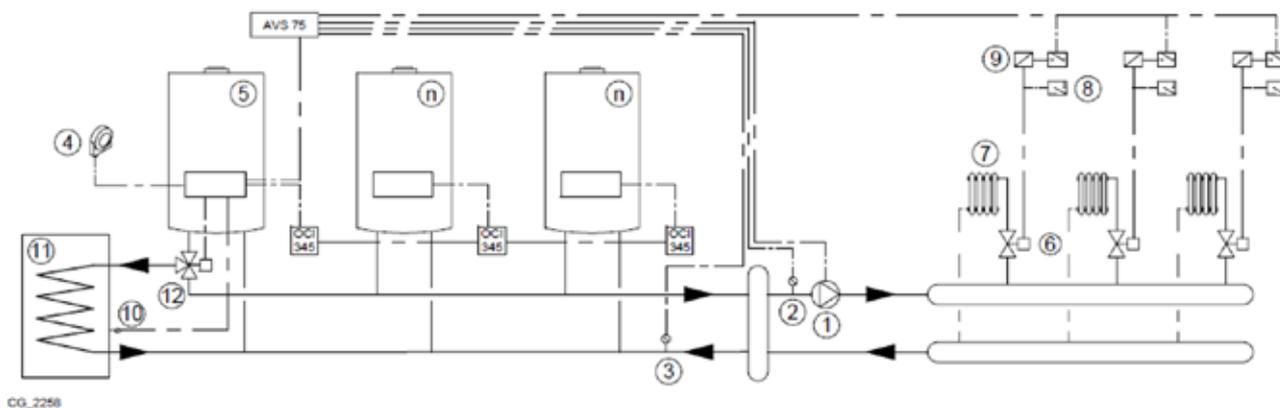


Figura 3.12 Esquema de cascadas con caldera de ACS.

VI. Cascadas sin caldera de ACS

En este caso, todas las calderas trabajan para ambos servicios, calefacción y ACS. No hay ninguna caldera dedicada a uno de los servicios. Las características más importantes de este esquema son:

- Siempre que se necesite uno de los dos servicios, calefacción o ACS, se tendrá que calentar todo el circuito primario.
- Al no tener calderas especializadas, el sistema puede trabajar incluso con una o varias calderas para-

das, siempre que la potencia sea suficiente. Esto asegura más el servicio, salvo que todas las calderas tengan averías al mismo tiempo, es difícil que la instalación se quede sin servicio.

- Es la opción más recomendada para calderas de condensación, ya que permite tener el mayor número posible de calderas encendidas a la menor potencia posible, lo que hace que las calderas tengan mejor rendimiento.

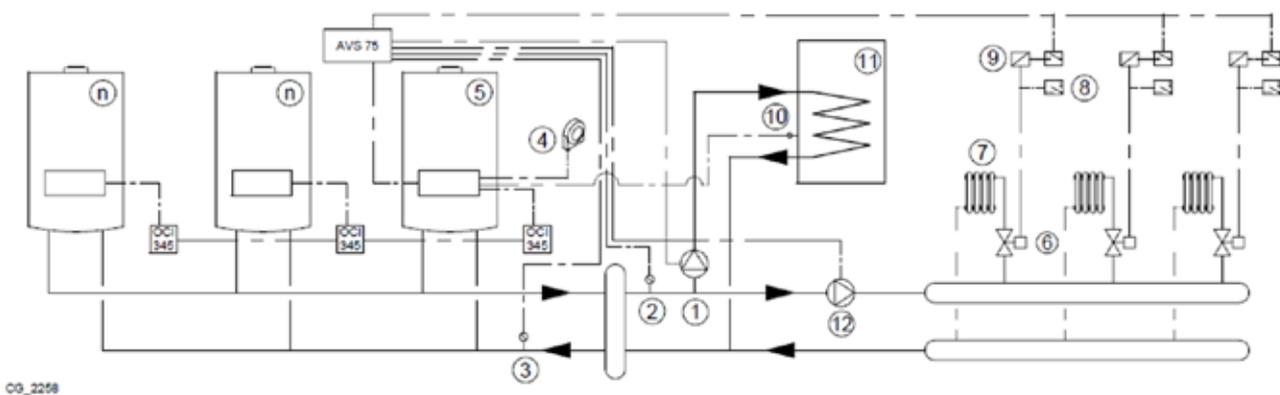


Figura 3.13 Esquema de cascadas sin sistema de ACS.

3.2 CALEFACCIÓN REFRIGERACIÓN Y ACS

3.2.1 Introducción

La aparición de bombas de calor aerotérmicas hace más de diez años, capaces de dar servicio de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria empleando un único equipo, constituyó una verdadera revolución energética dentro del sector de la climatización.

Hoy en día, estas soluciones pensadas en un principio para instalaciones individuales pueden exportarse a modelos centralizados sin renunciar al confort, la eficiencia y la versatilidad de uso e instalación característica de esta tecnología. Los continuos avances en la tecnología de los equipos generadores, de los elementos terminales y de regulación, la aparición de nuevos refrigerantes, los amplios rangos de temperatura de agua de impulsión alcanzables y la menor demanda energética en la construcción actual convierten a la aerotermia en una de las opciones con mayor proyección en las instalaciones de climatización centralizadas, permitiendo combinar esta energía renovable con todo tipo de elementos.



Figura 3.14 Instalación centralizada de calefacción y ACS con bombas de calor en un edificio de viviendas.

El principio de funcionamiento de este tipo de soluciones aerotérmicas centralizadas es el mismo que en bombas de calor individuales: el sistema extrae energía del aire ambiente gracias al trabajo del compresor en un ciclo cerrado de refrigerante y la cede a la instalación a través de los respectivos elementos terminales.

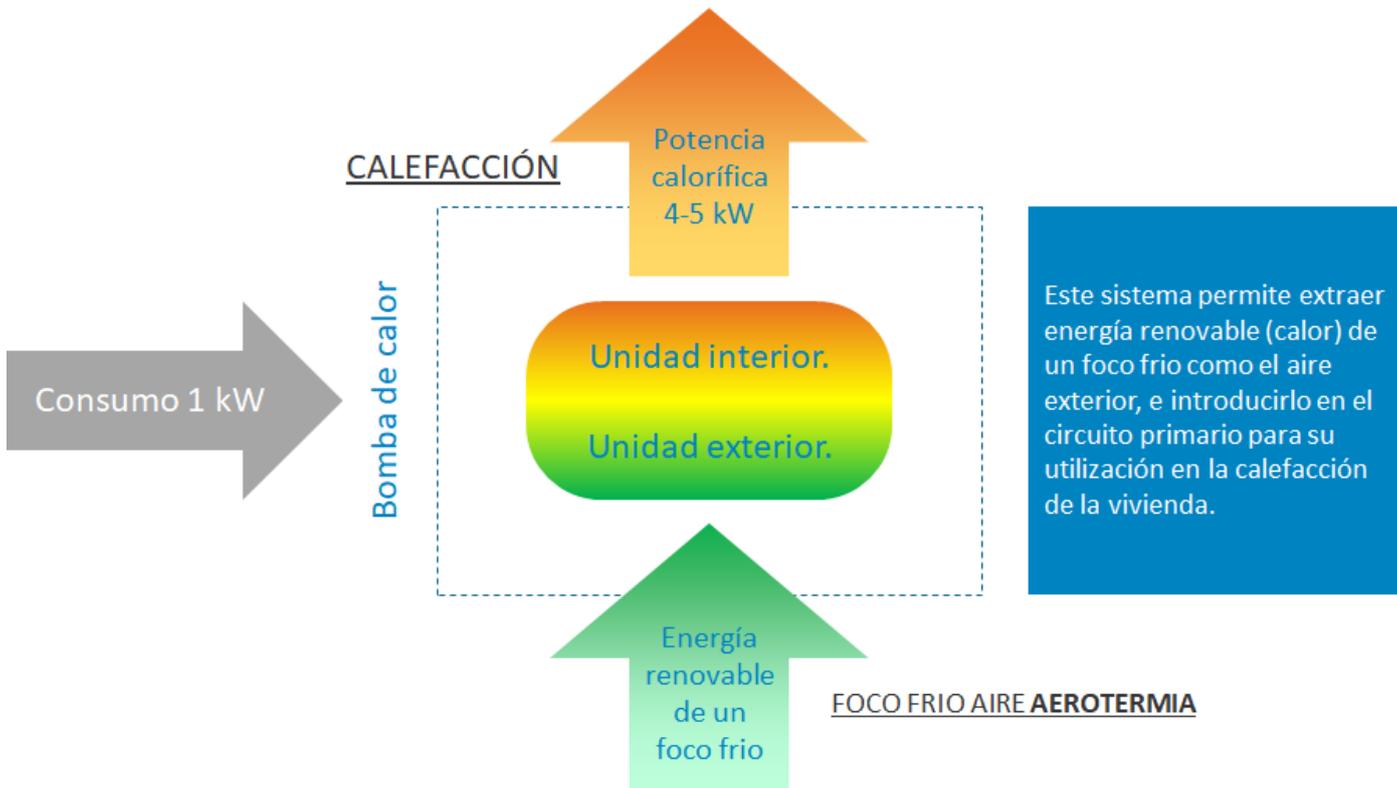


Figura 3.15 Funcionamiento de una bomba de calor aerotérmica en calefacción.

A la hora de llevar a cabo una instalación centralizada se debe tener en cuenta una serie de cuestiones, algunas de ellas comunes a las instalaciones individuales, con el fin de seleccionar equipos eficientes ajustados a la potencia real demandada en la instalación y maximizar la eficiencia energética, sin penalizar el confort.

3.2.2 Demanda energética y potencia máxima instantánea necesaria

Mediante el cálculo de la demanda energética del edificio se sabrá qué cantidad de energía será necesaria para satisfacer

los distintos procesos de confort a lo largo del año y, mediante el cálculo de la carga térmica máxima simultánea (tanto en refrigeración como en calefacción), la potencia útil real necesaria en los equipos generadores para cubrir los picos de demanda.

Hoy en día, gracias a los programas de simulación energética, es posible conocer con gran exactitud las relaciones de simultaneidad entre distintas zonas del edificio con comportamientos térmicos distintos en un mismo periodo del día, lo que permitirá una selección más ajustada de los elementos generadores de calor.

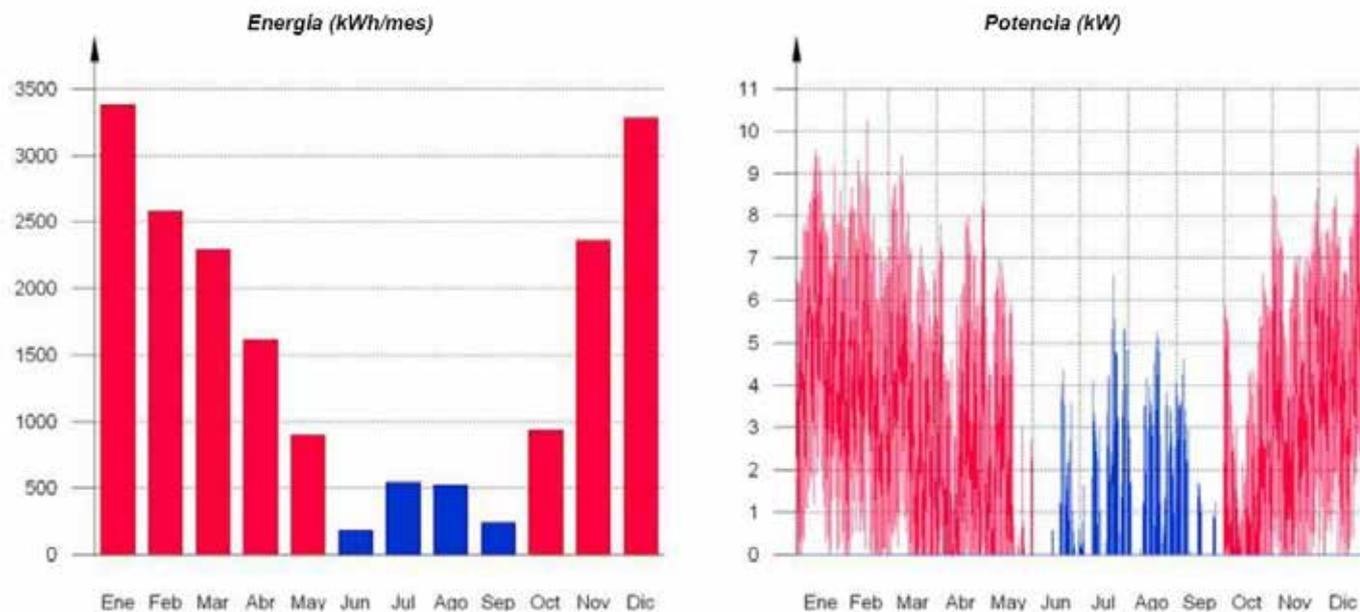


Figura 3.16 Ejemplo de demanda térmica y potencia máxima instantánea en una vivienda.

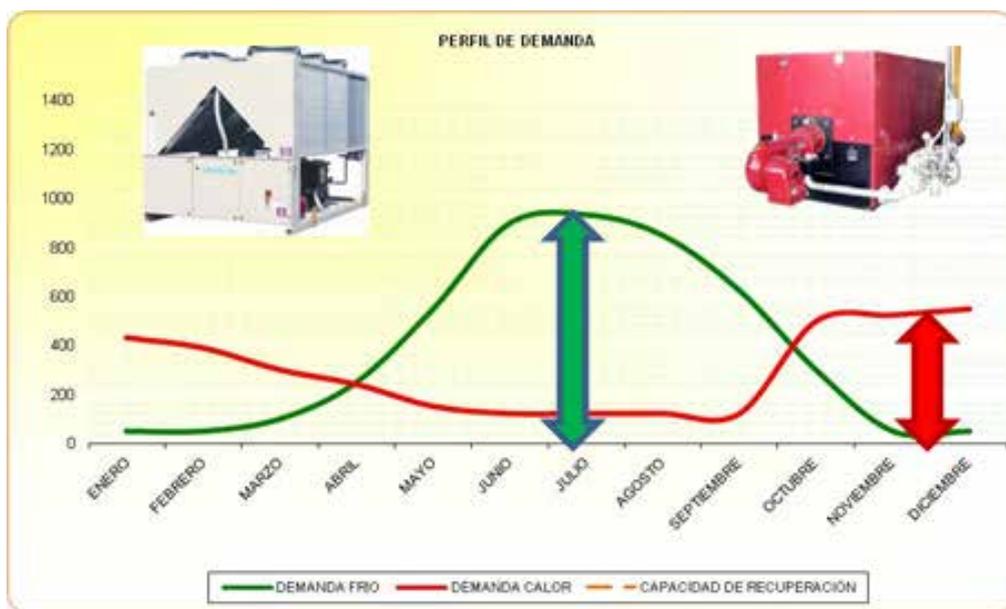


Figura 3.17 Variación del perfil de demanda en una instalación centralizada.

En instalaciones centralizadas es importante conocer la distribución horaria real de la carga térmica de calefacción y refrigeración, así como los consumos punta de agua caliente sanitaria para poder dimensionar correctamente los sistemas de producción teniendo en cuenta las posibilidades reales de recuperación de calor. De este modo, se podrá evitar sobredimensionar los equipos generadores y maximizar la eficiencia global de la instalación.

Los sistemas de volumen de refrigerante variable actuales permiten integrar todo tipo de elementos terminales, desde unidades interiores de expansión directa a elementos terminales con agua (fancoils, suelo radiante/refrescante) suponiendo una opción de gran versatilidad y eficiencia.

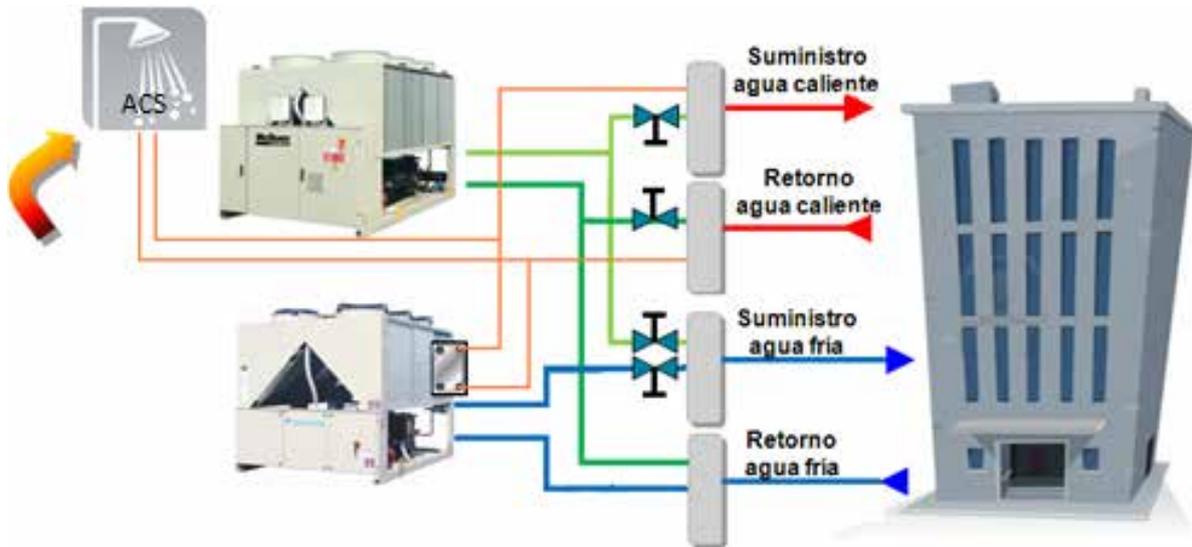


Figura 3.18 Sistema a 4 tubos con recuperación de calor para ACS.

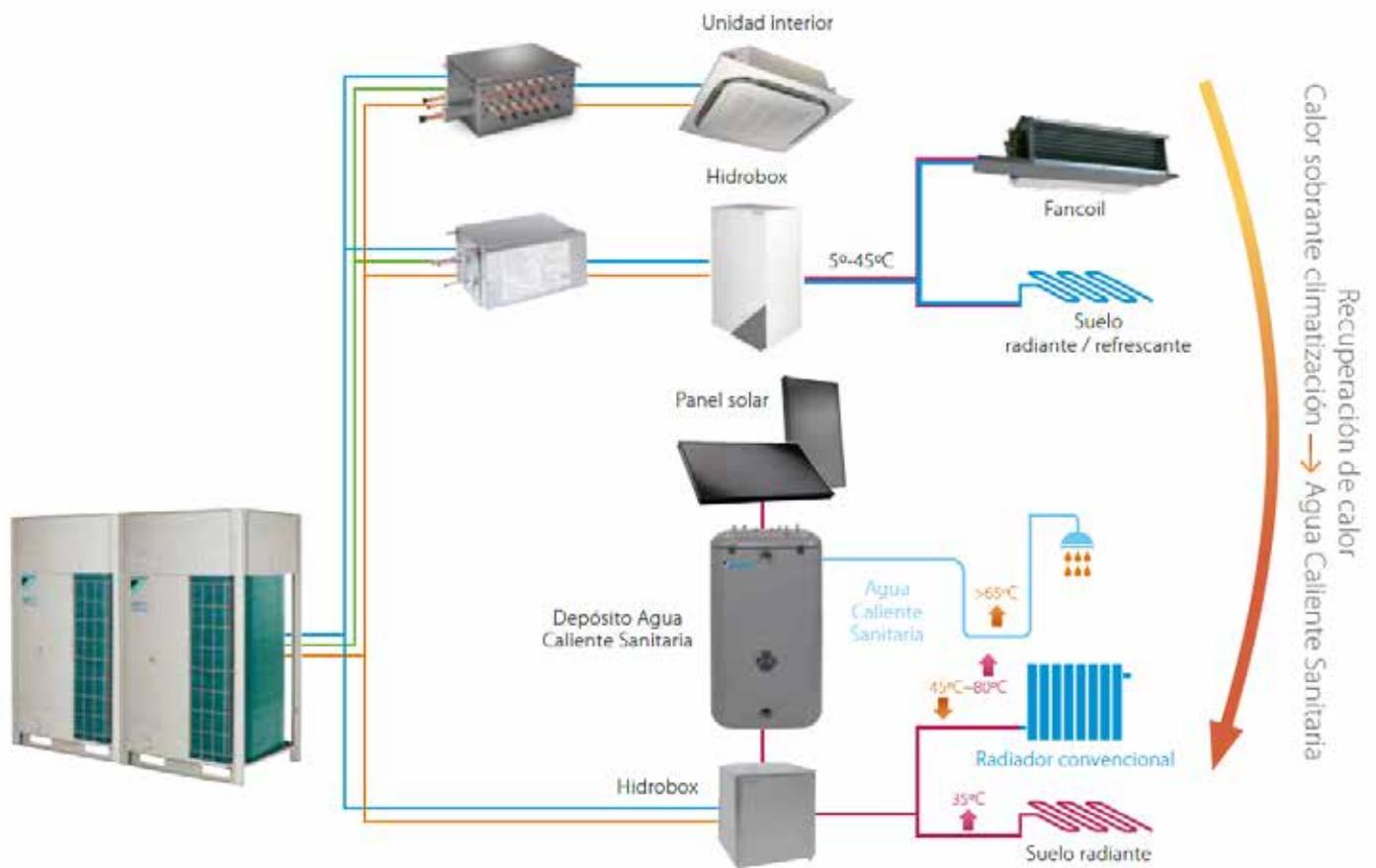


Figura 3.19 Sistema con volumen de refrigerante variable y recuperación total.

En los sistemas VRV o VRF (caudal de refrigerante variable), la tecnología de temperatura de refrigerante variable permite variar la temperatura del refrigerante en función de la potencia requerida y de la temperatura exterior. De este modo, se ajustan exactamente a la demanda real instantánea evitando saltos térmicos extremos frente a la temperatura exterior y consiguiendo un aumento de eficiencia estacional de un 25%.

De igual manera que en instalaciones hidrónicas no es necesario impulsar siempre a la misma temperatura de agua, la

variación de la temperatura/presión de evaporación del refrigerante se traducirá en temperaturas de impulsión de aire más confortables y en instalaciones más eficientes.

Cuando los equipos trabajan en refrigeración, la posibilidad de recuperar el calor de condensación para la producción de ACS convierte este proceso en “gratis”: la energía que de otro modo se disiparía en la unidad exterior se transfiere al depósito de acumulación de ACS calentándolo con energía residual.

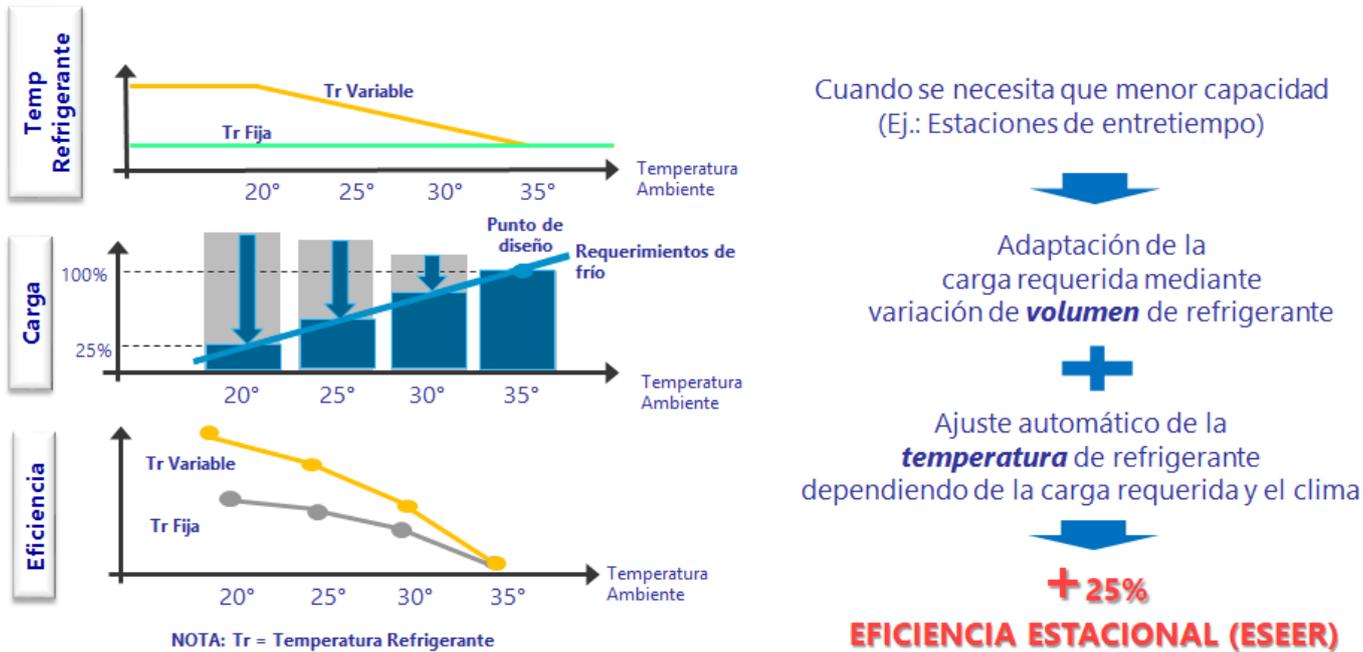


Figura 3.20 Variación del rendimiento de un sistema VRV en función de la temperatura de refrigerante.

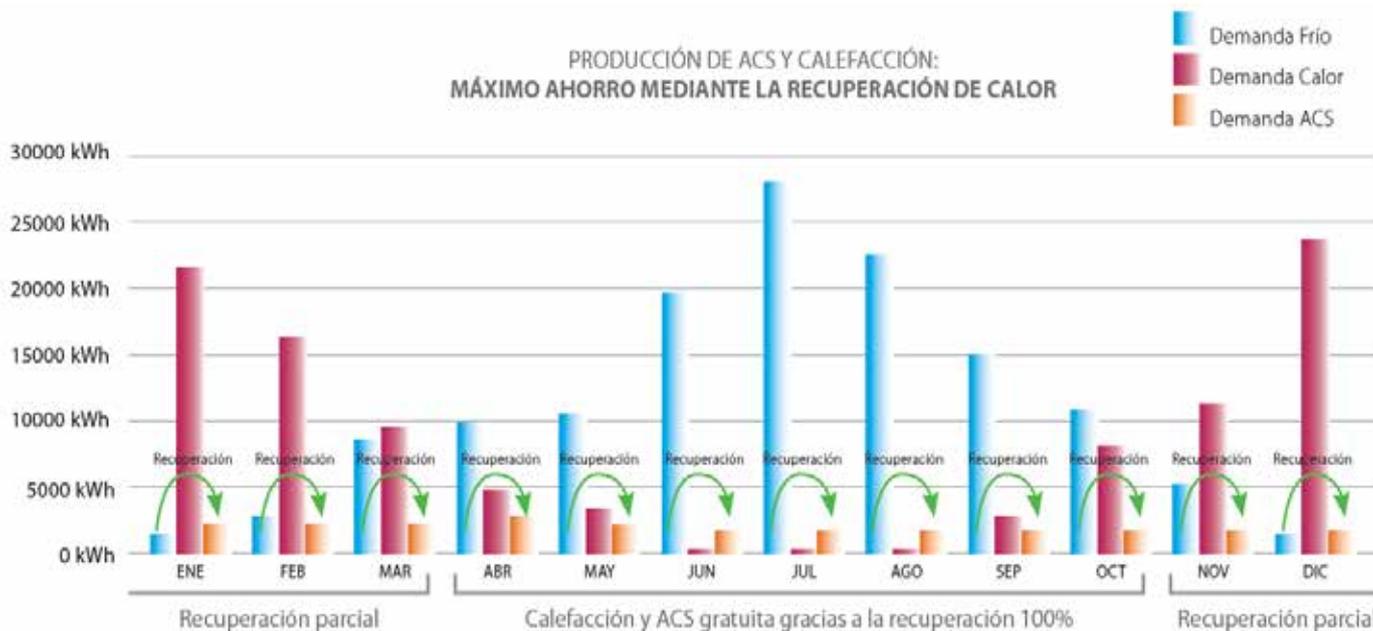


Figura 3.21 Recuperación de calor para ACS.

El perfil de consumo del ACS en viviendas está desfasado con respecto a la curva de captación: los picos de demanda se producen antes y después en el tiempo con respecto al pico de captación solar, por lo que será necesario dimensionar los acumuladores de tal manera que pueda aprovecharse la energía gratuita del sol.

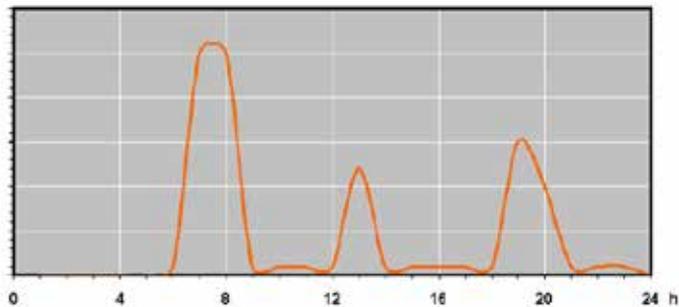


Figura 3.22 Perfil horario de demanda de ACS típico en viviendas.

La recuperación de calor en edificios no residenciales, como oficinas, permite reducir la potencia de las unidades exteriores instaladas y aprovechar el perfil de demanda de calefacción y refrigeración simultánea que se da entre fachadas con orientaciones opuestas, zonas centrales con altas ganancias internas, cuartos de Rack, etc.

Los sistemas deben cubrir la potencia máxima demandada tanto en calefacción como en refrigeración. Sin embargo, al dimensionar la instalación para esos picos puntuales, siempre tendremos equipos generadores con exceso de capacidad para la mayor parte de las horas del año.

En función del perfil de carga térmica temporal y de la potencia total demandada a los equipos, en equipos no Inverter es recomendable dividir la instalación en varios equipos generadores siempre que sea posible. De este modo, se podrán obtener valores de eficiencia mayores trabajando únicamente con los equipos necesarios en cada momento y ajustando la potencia entregada a la demandada.

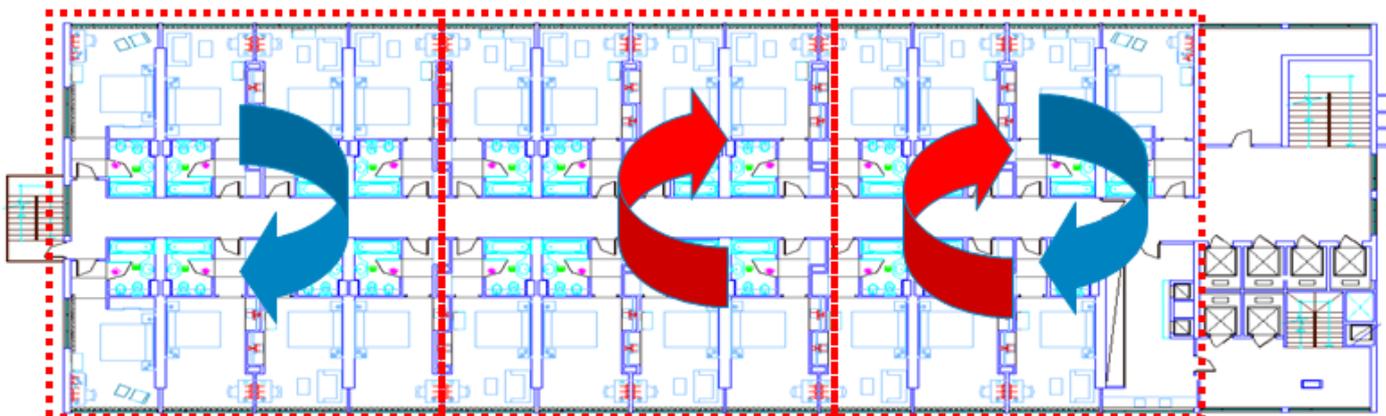


Figura 3.23 Recuperación de calor en oficinas.

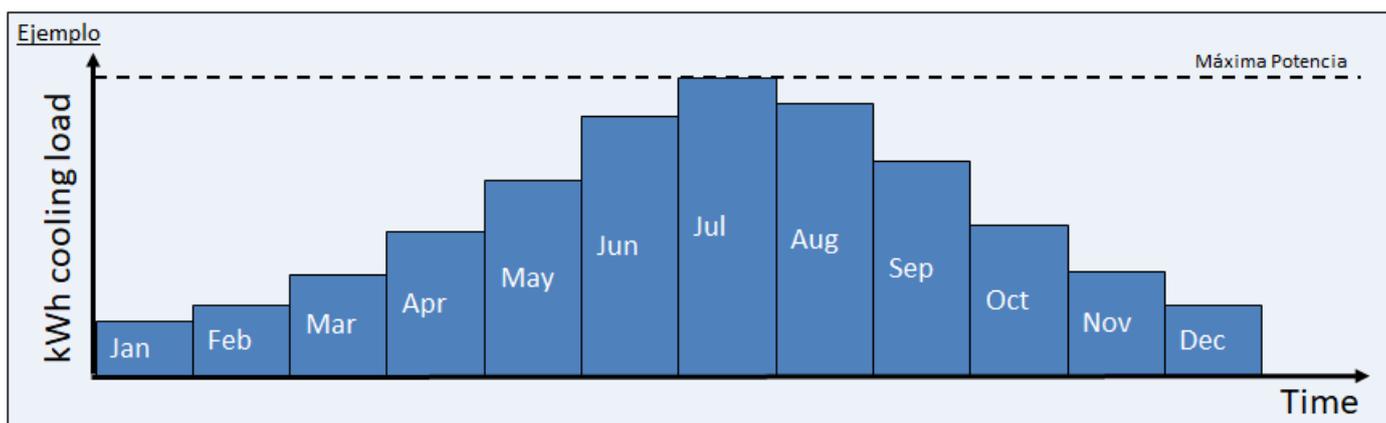


Figura 3.24 Distribución de la demanda de refrigeración anual en un edificio de oficinas en Madrid.

Sin embargo, si se trabaja con equipos Inverter se debe estudiar la posibilidad de aprovechar el aumento de la eficiencia durante el trabajo a cargas parciales y optimizar el punto de funcionamiento del equipo generador, logrando maximizar el rendimiento.

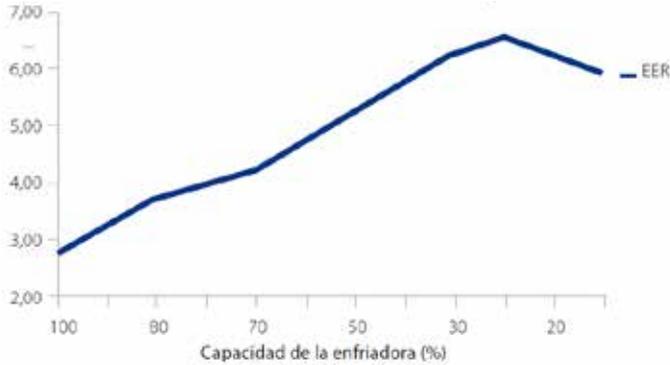


Figura 3.25 Variación del rendimiento de una enfriadora Inverter en refrigeración.

La capacidad de la bomba de calor es inversamente proporcional a la potencia demandada en la instalación. Por ejemplo, durante el periodo de refrigeración la carga térmica aumenta según aumenta la temperatura exterior, mientras que la potencia entregada por la enfriadora disminuye. De este modo, siempre se tendrá un exceso de potencia instalada durante gran parte de las horas de funcionamiento.

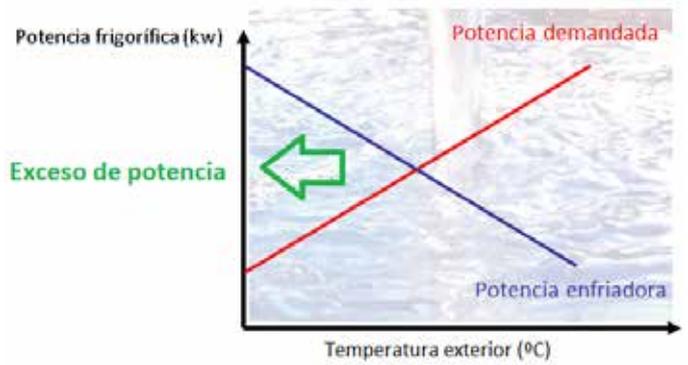


Figura 3.26 Relación entre potencia entregada y demandada en refrigeración.

Prácticamente el 50% de los costes energéticos de un edificio se deben a los sistemas de climatización, y puesto que estos no siempre necesitan la carga total de diseño para combatir las necesidades de climatización, se puede conseguir un ahorro muy importante mediante la utilización de variadores de frecuencia tanto en compresores, como en bombas y ventiladores.

La aplicación de la tecnología Inverter permite adaptar la capacidad, controlando la velocidad de rotación del compresor, para ajustarse exactamente a los requerimientos de carga, resultando en grandes ahorros de energía.

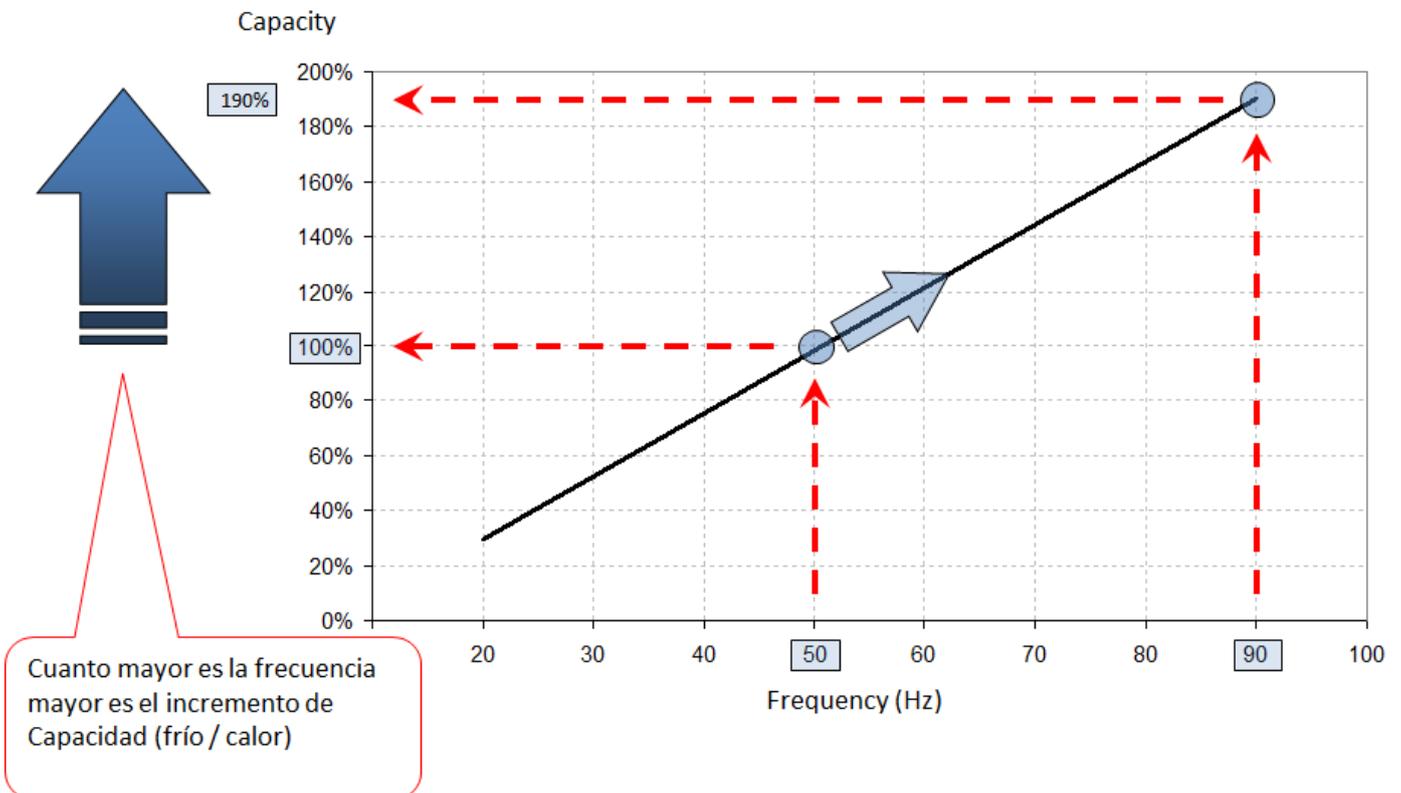


Figura 3.27 Ajuste de la potencia del compresor variando su frecuencia de giro.

Entre los aspectos de mejora que aporta el uso de compresores Inverter, destacan los siguientes:

- Menores consumos energéticos, minimizando el periodo de amortización y reduciendo las emisiones de CO₂.
- Mejoras en los rendimientos a cargas parciales.
- Rápido alcance de las condiciones de confort.
- Reducción de los niveles sonoros a cargas parciales.
- No existen picos de corriente: corriente arranque < corriente nominal.
- Óptimo factor de potencia (> 0,95).
- Reducción de los depósitos de inercia necesarios.
- Mayor fiabilidad del sistema gracias a la reducción de paradas y arranques del compresor.

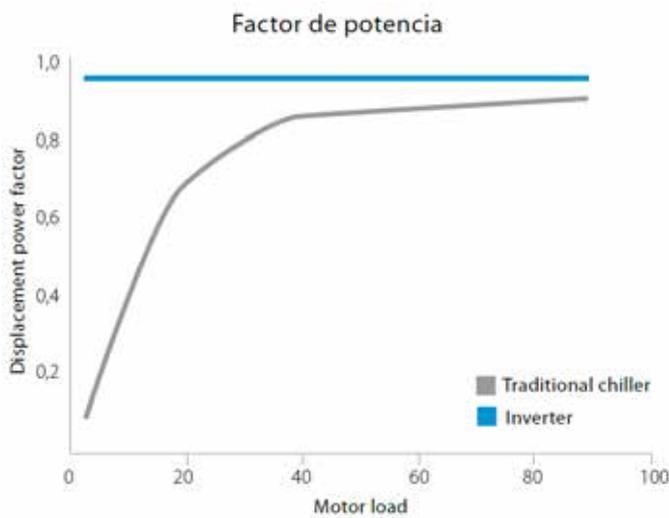


Figura 3.28 Mejora del factor de potencia en equipos Inverter.

3.2.3 Demanda de agua caliente sanitaria

Se calcula la demanda máxima de ACS en función de los valores de referencia indicados en el Código Técnico de la Edificación dentro de la sección HE4, en función del criterio de uso y ocupación.

Tabla 3.4 Demanda de referencia a 60º.

Criterio de demanda	Litros/día unidad	Unidad
Vivienda	28	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por persona
Ambulatorio y centro de salud	41	Por persona
Hotel*****	69	Por persona
Hotel****	55	Por persona
Hotel***	41	Por persona

En el caso de edificios de viviendas multifamiliares, se aplica un factor de corrección al resultado calculado anteriormente.

Tabla 3.5 Valor del factor de centralización.

Nº viviendas	Litros/día unidad Unidad
$N \leq 3$	1,00
$4 \leq N \leq 10$	0,95
$11 \leq N \leq 20$	0,90
$21 \leq N \leq 50$	0,85
$51 \leq N \leq 75$	0,80
$76 \leq N \leq 100$	0,75
$N \geq 101$	0,70

Para la producción de ACS, existen bombas de calor de alta temperatura capaces de llegar a temperaturas de impulsión de agua de 80º C sin necesidad de resistencia eléctrica. Por ejemplo, bombas de calor de doble ciclo frigorífico de R-410A y R-134a que trabajando en cascada, independizan prácticamente la temperatura de acumulación respecto de la temperatura exterior, permitiendo llegar a altos valores de acumulación de ACS con un elevado rendimiento.

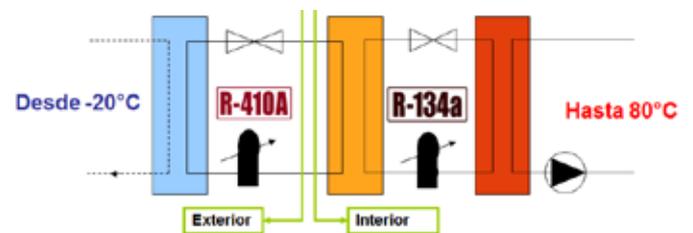


Figura 3.29 Doble ciclo frigorífico en cascada de R-410A y R-134a.

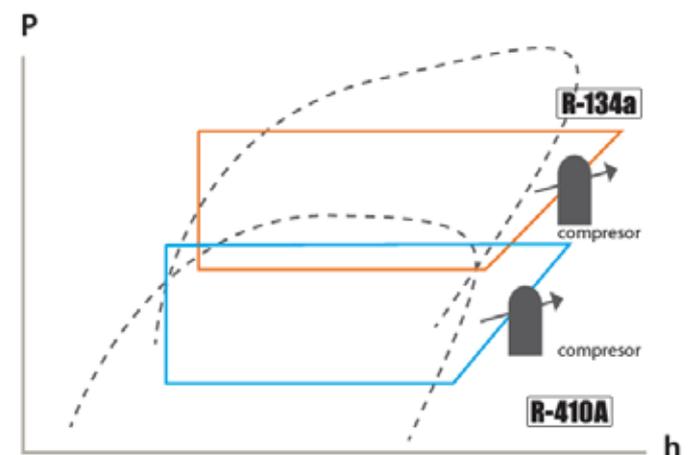


Figura 3.30 Doble ciclo frigorífico en cascada de R-410A y R-134a.

Mediante un control centralizado adecuado es posible gestionar el funcionamiento en cascada de los equipos de producción, secuenciando su funcionamiento en base a la demanda instantánea de ACS y calefacción. Además, en proyectos de rehabilitación energética, conviene estudiar la oportunidad de combinarlos con equipos generadores ya existentes como complemento a la producción mediante bombas de calor aerotérmicas.

La aparición de bombas de calor que emplean nuevos refrigerantes como el R32 ha abierto un nuevo campo de posibilidades dentro del campo de las bombas de calor aerotérmicas, al permitir impulsar a mayores temperaturas de agua aumentando la eficiencia.

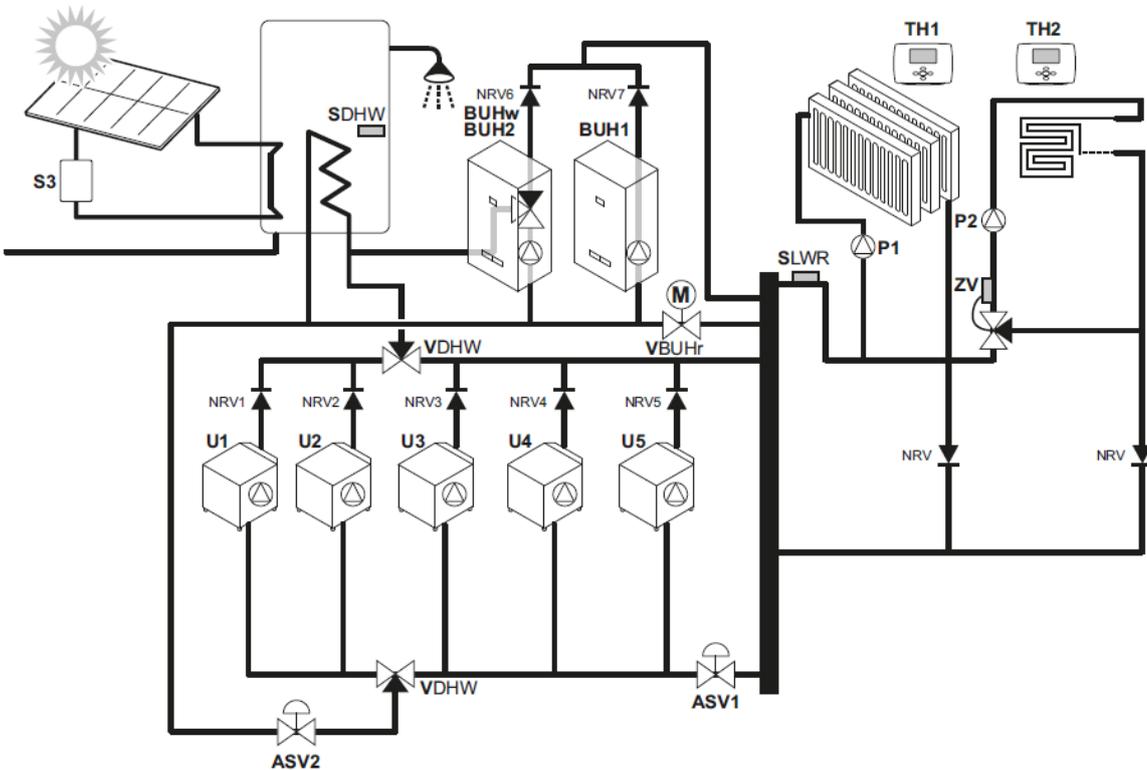


Figura 3.31 Ejemplo de integración de bombas de calor trabajando en cascada.

Refrigeration Cycle of HFC32

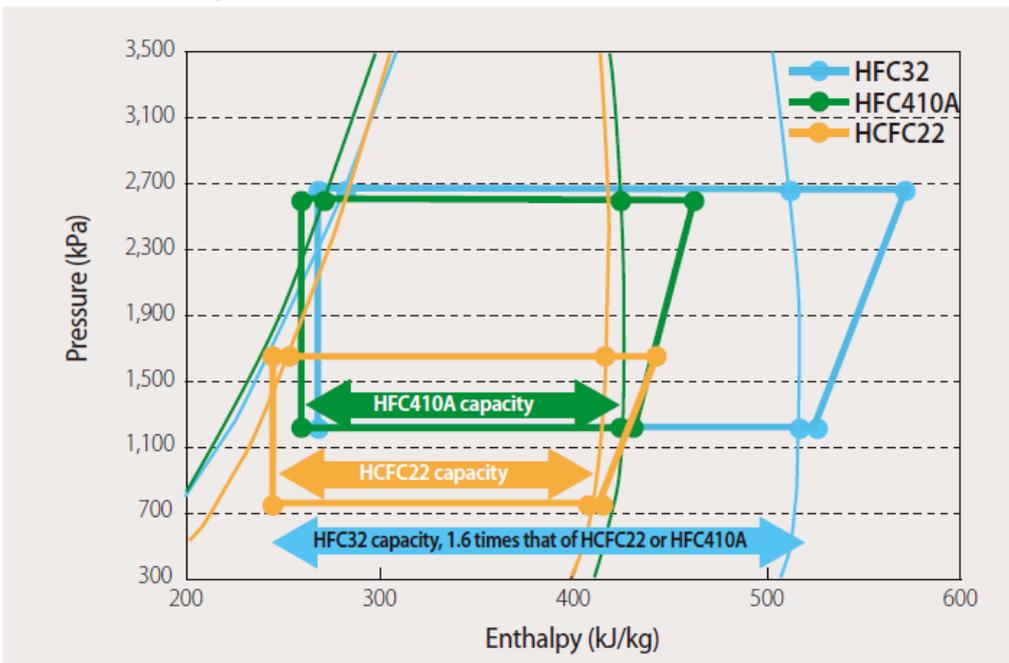


Figura 3.32 Ciclo de refrigeración con HFC32.

3.2.4 Integración con otro tipo de sistemas, especialmente energías renovables

La eficiencia debe verse como un valor global y se debe explorar, como se comentaba en el apartado anterior, la viabilidad de combinar distintas fuentes de energía para mantener el equilibrio necesario entre coste y eficiencia, tanto renovables como equipos ya existentes dentro de unos valores mínimos de eficiencia. De nada servirá proponer la solución más eficiente si no es rentable en términos económicos, si el periodo de amortización se dilata excesivamente en el tiempo o el coste de implantación excede el presupuesto.

3.2.5 Tipo de elementos terminales

La selección de los elementos terminales (emisores térmicos) condicionará en gran medida el tipo de sistema a elegir, así como la eficiencia global de la instalación y las posibilidades de regulación.

Hay dos valores fundamentales que condicionan la eficiencia de una bomba de calor: la temperatura exterior y la temperatura de impulsión de agua (o refrigerante en los sistemas de expansión directa). Por lo tanto, la temperatura de trabajo de los elementos terminales influirá en gran medida en la eficiencia de la instalación.

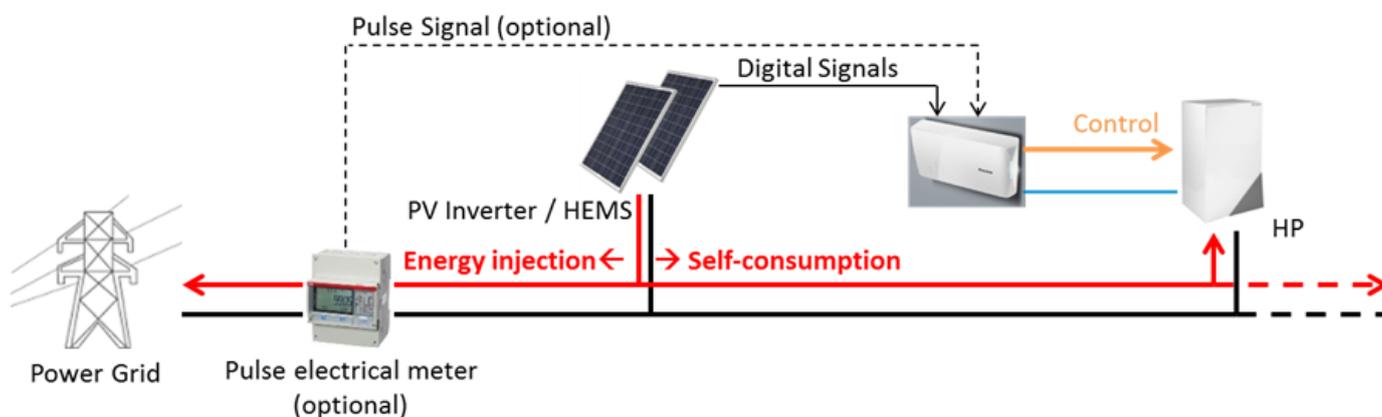


Figura 3.33 Integración de bombas de calor con sistemas fotovoltaicos.

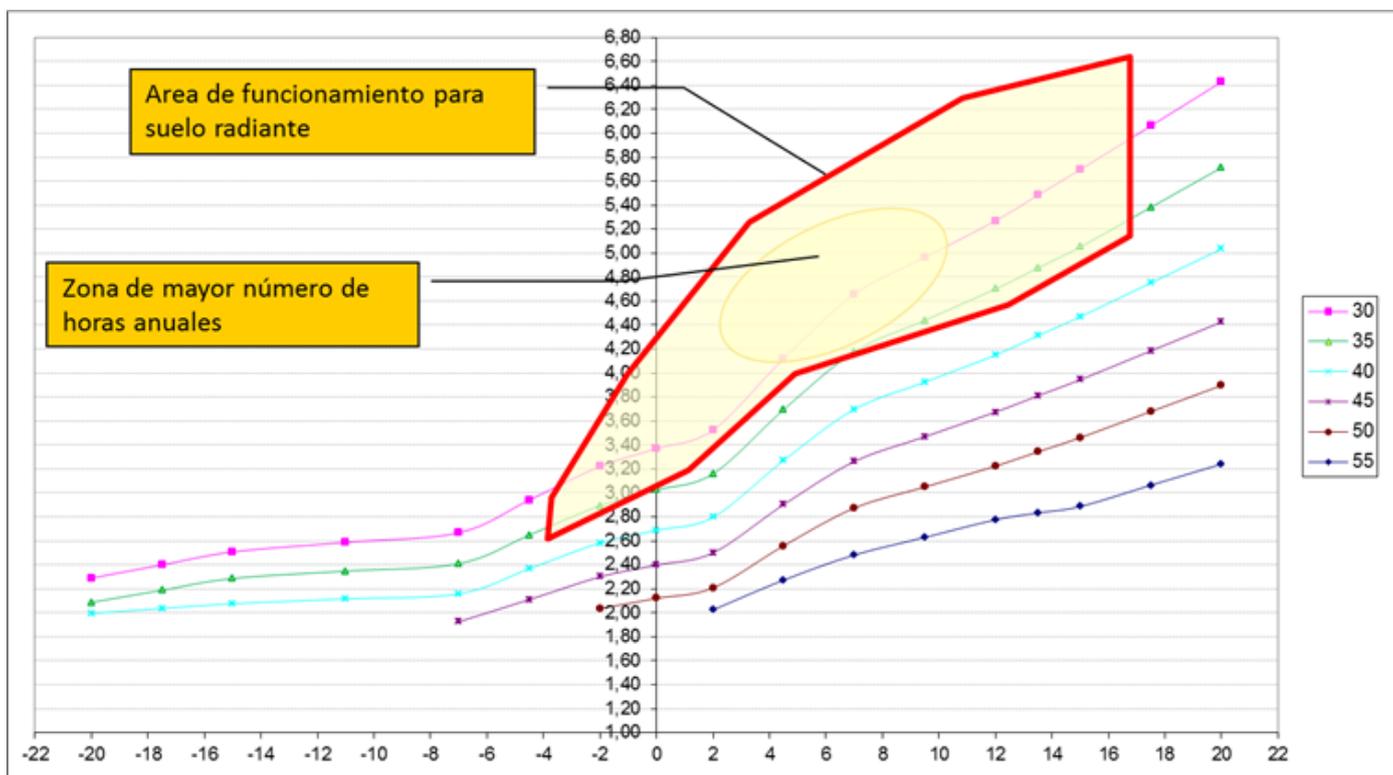


Figura 3.34 Variación del COP de una bomba de calor aerotérmica en función de la temperatura de impulsión del agua.

3.2.6 Espacios de instalación y mantenimiento

Cualquier bomba de calor basa su principio de funcionamiento en la extracción de energía del aire exterior para posteriormente transferirla a la instalación. Por lo tanto, garantizar un caudal de aire mínimo a través de la unidad exterior es una necesidad fundamental para garantizar su correcto funcionamiento y no penalizar los valores de eficiencia.

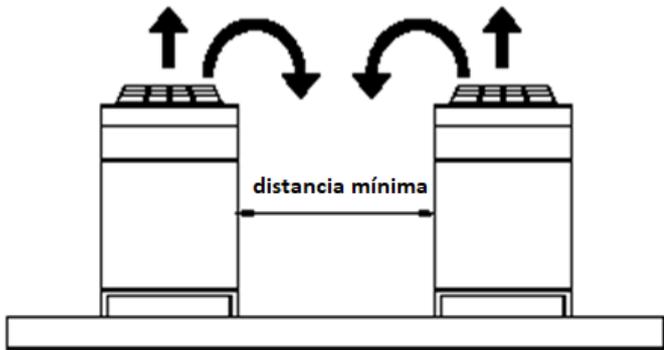


Figura 3.35 Distancia mínima entre unidades exteriores.

Además, el espacio alrededor de la unidad debe ser adecuado para trabajos de mantenimiento y reparaciones. En los catálogos técnicos de los fabricantes pueden encontrarse esquemas acotados con las distancias mínimas a respetar, así como recomendaciones generales de instalación.

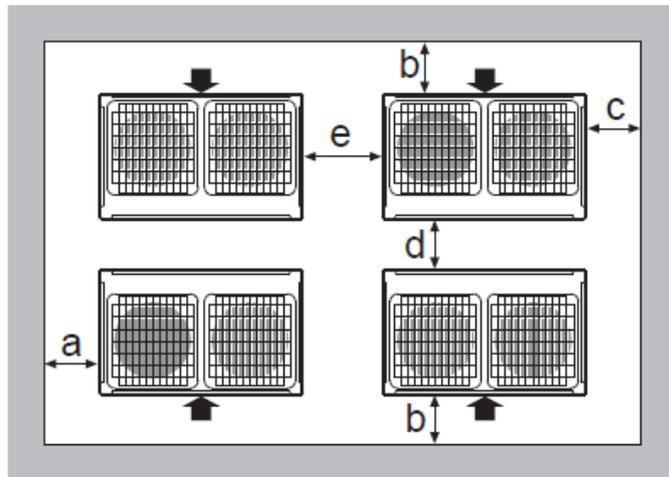


Figura 3.36 Ejemplo de esquema de espacios de mantenimiento en equipos VRV.

En el caso de bombas de calor que trabajen con tuberías frigoríficas, otro de los aspectos a tener en cuenta es la distancia máxima total admitida, así como la diferencia de nivel entre la unidad exterior y las unidades interiores. Exceder la distancia máxima puede originar fallos de funcionamiento y una disminución importante de la potencia entregada y el rendimiento de los equipos.

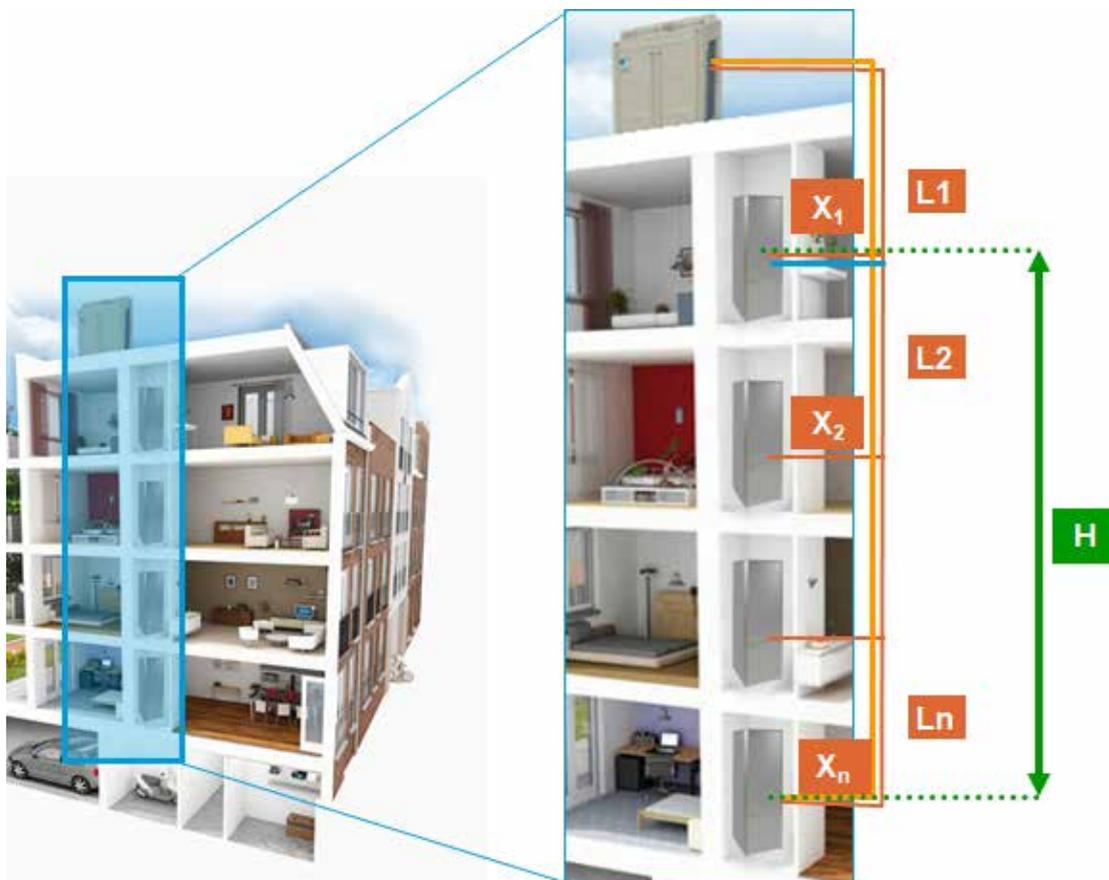


Figura 3.37 Respetar las distancias frigoríficas máximas.

3.3 ENERGÍAS RENOVABLES. SOLAR TÉRMICA

3.3.1 Aplicaciones de la energía solar térmica

El principal objetivo de una instalación solar térmica es generar un ahorro significativo de la energía convencional y reducir emisiones de CO₂, además de consumir menos cantidad de energía primaria no renovable.

El sol es una fuente de energía inagotable, su aprovechamiento depende de muchos factores, algunos de los cuales podemos controlar, como son los que afectan a la inclinación y ubicación de los captadores.

El objetivo es diseñar una instalación que garantice el aporte energético en función de la demanda, sin olvidar que es inevitable el apoyo de energía convencional como sistema de energía auxiliar.

Las principales aplicaciones de la energía solar térmica son:

- Sistemas de preparación de A.C.S.
- Calentamiento del agua de piscinas.
- Apoyo a calefacción.

Es primordial conocer la demanda que se produce de forma diaria, así como disponer de datos que hagan referencia al tipo de captador a instalar.

La demanda energética, a su vez, depende de dos factores, como son:

- Zona climática: en función de la localidad donde se lleve a cabo la instalación, tendremos unas temperaturas de entrada de agua y unos valores de temperatura ambiente diferentes que determinarán el rendimiento del captador.
- Ocupación y tipología del edificio: el número de usuarios que realizan consumo y el uso al que esté destinado el mismo afectan a la demanda.

Tabla 3.6 Consumos unitarios en l/día en función del uso.

Demanda	l/día	Demanda	l/día	Demanda	l/día
Viviendas	28	Hospitales/clínicas	55	Ambulatorio C. Salud	41
Hotel*****	69	Hotel****	55	Hotel***	41
Hotel**	34	Camping	21	Hostal/pensión	28
Residencia	41	Centro penitenciario	28	Albergue	24
Vestuarios	21	Escuela sin ducha	4	Escuela con ducha	21
Cuarteles	28	Fábricas y talleres	21	Oficinas	2
Gimnasios	21	Restaurantes	8	Cafeterías	1

El rendimiento del captador se ve afectado por las condiciones externas que se detallan:

- Radiación media diaria: cantidad de energía incidente por unidad de superficie y por unidad de tiempo. Se encuentra este dato en tablas publicadas que corresponden a capitales de provincia.
- Inclinación del captador: el objetivo es dar una inclinación al captador, de tal forma que capte la energía procedente del sol lo más perpendicular posible para que su aprovechamiento sea máximo. Lo más recomendable es que la inclinación coincida con la latitud del lugar donde se lleva a cabo la instalación, aunque hay ocasiones en las que es necesario cambiar esta inclinación en función del periodo de utilización de la instalación.
- Orientación del captador: con el fin de aprovechar al máximo la radiación solar se orientará hacia el sur geográfico siempre y cuando nos encontremos en el hemisferio norte. Ligeras desviaciones respecto al sur también son admisibles.

Tras conocer los consumos y, por lo tanto, la demanda se definirá la superficie de captadores necesarios para generar el aporte energético solar y el volumen de acumulación necesario para un día en el caso de servicio de A.C.S.

3.3.1.1 Estimación de la demanda

Las formas de definir la demanda pueden ser:

3.3.1.1.1 Suministro de A.C.S.

Para determinar la demanda de un edificio se tomarán los valores unitarios aportados por el CTE actual a una temperatura de referencia. Aquellos municipios que cuenten con ordenanza municipal se guiarán por los consumos establecidos a la temperatura de uso exigida.

La siguiente tabla aportada por el CTE define los consumos unitarios en l/día en función del uso al que esté destinada la instalación, para una temperatura de referencia de 60 °C:

En aquellos casos en los que la temperatura de uso sea diferente a 60 °C, la conversión se podrá realizar mediante la siguiente expresión:

$$D_i(T) = D_i(60^{\circ}\text{C}) \times \left(\frac{60 - T_i}{T - T_i} \right)$$

Donde:

$D_i(T)$: Demanda de agua caliente a la temperatura T de diseño.

$D_i(60^{\circ}\text{C})$: Demanda de agua caliente a la temperatura de 60 °C.

T: Temperatura de diseño.

T_i : Temperatura media del agua fría.

Es muy importante conocer la distribución de demanda de A.C.S. a lo largo del año para evaluar mensualmente el aporte solar porcentual.

El porcentaje de ocupación se define de forma mensual y, salvo que se diga lo contrario, se definirá un 100%.

Hay municipios que en sus ordenanzas municipales trabajan con coeficientes de simultaneidad según el número de usuarios a los que se da servicio. Estas ordenanzas municipales u normativas regionales se tendrán en cuenta cuando sean más restrictivas que la normativa nacional marcada en el CTE para obra nueva o rehabilitación integral de instalaciones existentes.

La demanda energética de A.C.S (E) vendrá dada por la siguiente ecuación:

$$E = D \times (T_m - T_i) \times C_e$$

Esta estimación de la demanda energética es un factor clave en la determinación de la superficie de captadores y la distribución de la necesidad energética a lo largo de todo el año. Una repercusión importante puede ser debida a la temperatura de entrada del agua de suministro. Se pueden tomar valores de temperatura de agua de red para cada una de las provincias tipificados como los recogidos en la tabla 3.5.

Tabla 3.7 Temperatura de entrada de agua de red en cada capital de provincia.

Temperatura de entrada de agua de red para capital de provincias (Fuente CTE)													
Provincia	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año
Álava	7	7	8	10	12	14	16	16	14	12	8	7	11
Albacete	7	8	9	11	14	17	19	19	17	13	9	7	13
Alicante	11	12	13	14	16	18	20	20	19	16	13	12	15
Almería	12	12	13	14	16	18	20	21	19	17	14	12	16
Ávila	6	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6	10
Badajoz	9	10	11	13	15	18	20	20	18	15	12	9	14
Baleares	11	11	12	13	15	18	20	20	19	17	14	12	15
Barcelona	9	10	11	12	14	17	19	19	17	15	12	10	14
Burgos	5	6	7	9	11	13	16	16	14	11	7	6	10
Cáceres	9	10	11	12	14	18	21	20	19	15	11	9	14
Cádiz	12	12	13	14	16	18	19	20	19	17	14	12	16
Castellón	10	11	12	13	15	18	19	20	18	16	12	11	15
Ceuta	11	11	12	13	14	16	18	18	17	15	13	12	14
Ciudad Real	7	8	10	11	14	17	20	20	17	13	10	7	13
Córdoba	10	11	12	14	16	19	21	21	19	16	12	10	15
La Coruña	10	10	11	12	13	14	16	16	15	14	12	11	13
Cuenca	6	7	8	10	13	16	18	18	16	12	9	7	12
Gerona	8	9	10	11	14	16	19	18	17	14	10	9	13
Granada	8	9	10	12	14	17	20	19	17	14	11	8	13
Guadalajara	7	8	9	11	14	17	19	19	16	13	9	7	12
Guipúzcoa	9	9	10	11	12	14	16	16	15	14	11	9	12
Huelva	12	12	13	14	16	18	20	20	19	17	14	12	16
Huesca	7	8	10	11	14	16	19	18	17	13	9	7	12
Jaén	9	10	11	13	16	19	21	21	19	15	12	9	15
León	6	6	8	9	12	14	16	16	15	11	8	6	11
Lérida	7	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	7	13
La Rioja	7	8	10	11	13	16	18	18	16	13	10	8	12
Lugo	7	8	9	10	11	13	15	15	14	12	9	8	11

Temperatura de entrada de agua de red para capital de provincias (Fuente CTE)													
Provincia	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año
Madrid	8	8	10	12	14	17	20	19	17	13	10	8	13
Málaga	12	12	13	14	16	18	20	20	19	16	14	12	16
Melilla	12	13	13	14	16	18	20	20	19	17	14	13	16
Murcia	11	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11	15
Navarra	7	8	9	10	12	15	17	17	16	13	9	7	12
Orense	8	10	11	12	14	16	18	18	17	13	11	9	13
Asturias	9	9	10	10	12	14	15	16	15	13	10	9	12
Palencia	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	9	6	11
Las Palmas	15	15	16	16	17	18	19	19	19	18	17	16	17
Pontevedra	10	11	11	13	14	16	17	17	16	14	12	10	13
Salamanca	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	8	6	11
Tenerife	15	15	16	16	17	18	20	20	20	18	17	16	17
Cantabria	10	10	11	11	13	15	16	16	16	14	12	10	13
Segovia	6	7	8	10	12	15	18	18	15	12	8	6	11
Sevilla	11	11	13	14	16	19	21	21	20	16	13	11	16
Soria	5	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6	10
Tarragona	10	11	12	14	16	18	20	20	19	16	12	11	15
Teruel	6	7	8	10	12	15	18	17	15	12	8	6	11
Toledo	8	9	11	12	15	18	21	20	18	14	11	8	14
Valencia	10	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11	15
Valladolid	6	8	9	10	12	15	18	18	16	12	9	7	12
Vizcaya	9	10	10	11	13	15	17	17	16	14	11	10	13
Zamora	6	8	9	10	13	16	18	18	16	12	9	7	12
Zaragoza	8	9	10	12	15	7	20	19	17	14	10	5	13

Para el resto de poblaciones de la provincia, según la altura respecto a la capital (H) en metros se aplica la siguiente formula: $T_e = t_{eap-0,01x(H)}$.

Para el correcto funcionamiento de la instalación se han de considerar los siguientes parámetros en cuanto a su configuración, los cuales vienen recogidos en el antiguo CTE del 2013 o en la Guía Técnica de Energía Solar Térmica de ASIT:

- Se utilizarán válvulas mezcladoras, motorizadas o termostáticas, para limitar y regular la temperatura de los circuitos de distribución de ACS que pueden ser instaladas a la salida del sistema auxiliar y/o del sistema solar. La regulación será a la menor temperatura posible compatible con el uso y con los requisitos sanitarios y siempre por debajo de 60 °C para evitar posibles quemaduras a los usuarios.
- En suministros colectivos de A.C.S., en el punto más alejado de consumo, hay que asegurar llegar a 50 °C para evitar la legionella. En algún punto de la instalación se debe

asegurar 70 °C para desinfección de legionella y mantener el depósito de consumo de agua caliente a 60 °C (Real Decreto 865/2003).

3.3.1.1.2 Calentamiento de piscinas

Aprovechar la radiación solar para calentar piscinas es una opción interesante ya que permite ampliar los meses de baño, consiguiendo una temperatura agradable para su uso. Los factores de los que depende el diseño no son constantes y afectan a las pérdidas.

Estos factores son:

- Temperatura ambiente.
- Temperatura del agua de la piscina.

- Humedad relativa del aire.
- Velocidad del viento (piscinas descubiertas).

En el caso de piscinas climatizadas, el RITE actual marca que la temperatura del agua esté comprendida entre 24 °C y 30 °C según el uso al que esté destinada la piscina.

Es el CTE del 2013 era más restrictivo en cuanto a la definición de temperaturas, ya que relaciona la temperatura de climatización con la temperatura seca del aire del local donde se encuentra la piscina a climatizar, de tal forma que esta temperatura tiene que ser entre 2/3 °C mayor que la del agua, con un mínimo de 26 °C y un máximo de 28 °C. La humedad relativa del ambiente se mantendrá entre 55% y 70%, siendo el valor más recomendable el del 60%.

En líneas generales y para generar un ahorro de energía en las piscinas, éstas deberán estar protegidas con barreras térmicas para evitar posibles pérdidas de evaporación.

Hay que tener en cuenta con qué tipo de energía se puede calentar la piscina. Existen diferencias si la piscina está cubierta o descubierta:

- Piscinas descubiertas: para su calentamiento no se permite el empleo de energías convencionales; sí podrá hacerse con energías residuales o fuentes de energías renovables. Queda prohibido por lo tanto el calentamiento con una caldera.
- Piscinas cubiertas: en el caso de piscinas cubiertas, una parte de la climatización se cubrirá mediante un sistema de energía solar térmica, con la incorporación de un sistema de captación.

Para el cálculo es conveniente tener en cuenta las siguientes pérdidas:

- Pérdidas por evaporación: se producen en la transferencia de vapor de agua al ambiente.
- Pérdidas por convección hacia el ambiente: se dan en la superficie del agua, debido a la diferencia de temperaturas respecto al ambiente y al flujo de aire por encima de la superficie del líquido.
- Pérdidas por radiación: intercambio de calor entre la superficie del agua y el ambiente.
- Conducción a través de las paredes.
- Renovación del agua.

La instalación es más sencilla, ya que la propia piscina actúa como sistema de acumulación. Se recomienda seguir un orden de los elementos de la instalación, siendo éste bomba-filtro-captadores.

Para un correcto funcionamiento de la instalación, se ha de colocar la impulsión del agua caliente en la parte inferior de la piscina y la aspiración de agua fría ya filtrada en la parte superior de cara a producir un calentamiento homogéneo desde la parte inferior de la piscina hasta la superficie de la misma.

Se pueden calcular las pérdidas energéticas en función del tipo de piscina a calentar. El método de cálculo está basado en la diferencia de temperaturas y la velocidad del viento:

- Piscinas descubiertas: la climatización de una piscina descubierta se realiza de cara a aumentar el periodo de baño así como dar una temperatura de confort. Los siguientes parámetros atienden a las condiciones a tener en cuenta en el cálculo.
- Se pretende una cobertura solar del 100% durante los meses de abril a septiembre, con una temperatura media del agua en torno a 24 °C.
- Si la temperatura media del agua demandada supera los 24 °C, por cada 1 °C se recomienda incrementar la superficie de captadores en un 25%.
- En estos casos es recomendable utilizar la manta térmica durante las horas nocturnas de cara a minimizar las pérdidas.

Tabla 3.8 Pérdidas por radiación en MJ/m².

Pérdidas por radiación		
Temperatura ambiente (°C)		
15	Sin manta	14,6
	Con manta	9,6
15	Sin manta	13,5
	Con manta	8,9
15	Sin manta	12,5
	Con manta	8,2
21	Sin manta	11,4
	Con manta	7,5
23	Sin manta	10,3
	Con manta	6,7
25	Sin manta	9,1
	Con manta	5,9
27	Sin manta	7,9
	Con manta	5,1
29	Sin manta	6,7
	Con manta	4,2
31	Sin manta	5,4
	Con manta	3,4

Tabla 3.9 Pérdidas por convección en MJ/m².

Pérdidas por convección				
Grado de humedad		Condiciones de viento		
		Nulo-Débil	Moderado	Fuerte
Seco	Sin manta	6,5	12,5	17,3
	Con manta	3,9	7,5	10,4
Medio	Sin manta	5,6	9,9	13,4
	Con manta	3,4	6,0	8,0
Húmedo	Sin manta	4,8	7,3	9,5
	Con manta	2,9	4,4	5,7

Tabla 3.10 Pérdidas por evaporación en MJ/m².

Pérdidas por evaporación en MJ/m²				
Grado de humedad		Condiciones de viento		
		Nulo-Débil	Moderado	Fuerte
15	Sin manta	11,3	20	25,1
	Con manta	6,2	11	13,7
17	Sin manta	9,7	17,3	21,6
	Con manta	5,2	9,2	11,5
19	Sin manta	8,2	14,5	18,1
	Con manta	4,2	7,4	9,3
21	Sin manta	6,6	11,8	14,7
	Con manta	3,2	5,7	7,1
23	Sin manta	5,1	9,0	11,2
	Con manta	2,2	3,9	4,9
25	Sin manta	3,5	6,2	7,8
	Con manta	1,2	2,2	2,6
27	Sin manta	1,9	3,5	4,3
	Con manta	0,2	0,3	0,4
29	Sin manta	0,4	0,7	0,9
	Con manta	-0,8	-1,4	-1,8
31	Sin manta	-1,2	-2,1	-2,6
	Con manta	-1,8	-3,2	-4,0

En piscinas descubiertas la energía que debe aportar un captador viene dada por la expresión:

$$E = P - H * A$$

$$P = P_r + P_e + P_c$$

Pudiendo tomar las pérdidas de las tablas 3, 4 y 5 o directamente de la fórmula de la energía que debe aportar un captador reflejada anteriormente.

Donde:

- A: Superficie de la piscina.
- P: Pérdidas totales.
- P_r: Pérdidas por radiación.
- P_e: Pérdidas por evaporación.
- P_c: Pérdidas por convección.
- H*: Ganancia solar real dada por 0,85 • H.
- H: Ganancia solar, energía incidente por unidad de superficie.

Piscinas cubiertas: en la climatización de una piscina cubierta las condiciones de diseño de la temperatura ambiente, de la humedad relativa del local donde se encuentra la piscina y la temperatura del vaso de la piscina están completamente relacionadas.

Los criterios de climatización son:

- A la hora de climatizar una piscina cubierta se tiene en cuenta un periodo de utilización de todo el año.
- La cobertura solar viene dada por el CTE de 2013 en función de la zona climática que se definían en dicho CTE.

Tabla 3.11 Temperaturas recomendadas en función de la zona climática.

Piscinas cubiertas				
Zona climática				
I	II	III	IV	V
30	30	50	60	70

Las temperaturas recomendadas como media del agua y ambiente, son de 24 °C y 28 °C, respectivamente.

Tabla 3.12 Pérdidas energéticas en piscinas cubiertas.

Piscinas cubiertas		
Radiación	Evaporación	Conducción
(15-20)%	(70-80)%	Despreciables

Las pérdidas diarias por metro cuadrado de una piscina cubierta se evalúan mediante los datos aportados en las correspondientes tablas de pérdidas energéticas de piscinas descubiertas considerando viento nulo, temperatura ambiente de 24 °C y humedad entorno al 65-75%:

La fórmula que se utilizaría para este caso no tiene en cuenta la ganancia solar, quedando:

$$E = P \cdot A$$

Siendo:

A: Superficie de la piscina.
P: Pérdidas totales.

3.3.1.2 Demanda de calefacción

Otra aplicación de la captación solar térmica es calentar, a través de un circuito cerrado de agua caliente, las estancias de cualquier edificio y en particular una vivienda: hablamos del suministro de calefacción. En la mayoría de los casos este tipo de instalaciones tienen asociado el suministro de A.C.S. y son instalaciones pequeñas, la mayoría individuales. En cuanto a la instalación respecto a la del suministro de A.C.S., monta un sistema de acumulación de inercia antes de la caldera, en el retorno de la instalación de calefacción.

En las instalaciones solares térmicas para servicio de calefacción ocurre que precisamente cuando más se demanda energía para el servicio de calefacción es cuando la temperatura ambiente es más baja, por lo tanto, el fluido caloportador que circula por el captador tiene más pérdidas térmicas respecto al ambiente y el rendimiento del captador disminuye. Por esta razón, en aplicaciones de calefacción se recomienda trabajar con sistemas a baja temperatura, por ejemplo, suelo radiante, con temperaturas de ida a la instalación de no más de 50 °C.

Para instalaciones individuales de calefacción, con reducción de temperatura nocturna a través de cronotermostatos, y en el supuesto de viviendas con reducidas pérdidas por ventilación, tendremos el siguiente método comparativo para evaluar la demanda térmica de calefacción.

Se basa en hacer una comparativa entre la potencia necesaria por la vivienda calculada teniendo en cuenta la temperatura exterior mínima, y la potencia necesaria teniendo en cuenta la temperatura ambiente:

Tabla 3.13 Distribución de la vivienda ejemplo.

Estancia	Superficie m ²	Altura m	Orientación norte o sombra	PARED exterior	Aislamiento	Demanda kcal/h
Pasillo 1	3	2,5	1	1	1	323
Dormitorio 1	9	2,5	1	1	1	968
Salón	20	2,5	1	1	1	2.150
Baño	6	2,5	1	1	1	645
Pasillo 2	3	2,5	1	1	1	323
Dormitorio 2	9	2,5	1	1	1	968
Cocina	8	2,5	1	1	1	860
Dormitorio 3	12	2,5	1	1	1	1.290
	70					7.525

A. Primero se calcula la potencia necesaria teniendo en cuenta la temperatura exterior mínima que a su vez depende de varios parámetros:

- Superficie del habitáculo.
- Altura del habitáculo.
- Orientación.
- Paredes al exterior.
- Aislamiento.

B. Se calcula la potencia según la temperatura ambiente desarrollando la siguiente fórmula:

$$Potencia_{Ambiente} = Potencia_{Exterior} \times \frac{(T_{Interior}^a - T_{Ambiente}^a)}{(T_{Interior}^a - T_{Ambiente}^a)}$$

La expresión resultante se multiplica por el número de horas a calefactar de cada mes y por el número de días del mes. La temperatura ambiente es la temperatura exterior media diaria, distinta de la temperatura durante las horas de sol necesarias para el cálculo del rendimiento, y la temperatura exterior es la temperatura de proyecto mínima.

C. Por último, se dividiría por la potencia generada por el sol o aporte solar por m² (obteniéndose los metros cuadrados de captador, que a su vez se divide por los metros cuadrados útiles de captador), teniendo definitivamente el número de captadores.

EJEMPLO:

Vamos a calcular el número de captadores necesarios para satisfacer la demanda de calefacción de una vivienda de unos 70 m² en Soria. Se supone un sistema de suelo radiante a 45 °C, una temperatura de tarado en el interior de la vivienda de 20 °C y 8 horas de tiempo de utilización de la calefacción en los meses desde octubre a marzo.

El cálculo total desglosado se hará con el mes de enero y el resto se muestra con las tablas:

Se calcula la potencia necesaria en la vivienda.

Una vez se conoce la potencia necesaria calculada para una temperatura mínima, se calcula la potencia para la temperatura ambiente (esta fórmula se desarrolla para cada mes, en este caso lo hacemos para el mes de enero):

$$Potencia_{Ambiente} = Potencia_{Exterior} \times \frac{(T_{Interior}^a - T_{Ambiente}^a)}{(T_{Interior}^a - T_{Ambiente}^a)}$$

$$Potencia_{Ambiente} = 7525 \times \frac{(20 - 4)}{(20 - (-6))} = \frac{4630 \text{ kcal}}{860} = 5.38 \text{ kW}$$

Ahora es donde se tiene en cuenta el número de horas a calefactar y el número de días del mes:

$$Potencia_{Ambiente} = 5,38 \times 8 \times 31 = 1335,38 \frac{\text{kW}}{\text{h}}$$

Tabla 3.14 Demanda de calefacción en vivienda tipo.

Mes	Horas calefacción	Dem. Calef. kWh/7mes	Aporte solar kWh/mes/m ²
Enero	8,00	1.335,38	32,02
Febrero	8,00	1.055,38	55,18
Marzo	8,00	918,08	85,05
Abril	0,00	0,00	48,59
Mayo	0,00	0,00	143,91
Junio	0,00	0,00	175,60
Julio	0,00	0,00	225,16
Agosto	0,00	0,00	211,59
Septiembre	0,00	0,00	150,40
Octubre	8,00	584,23	95,07
Noviembre	8,00	969,23	34,38
Diciembre	8,00	1.251,92	21,65
		6.114,23	1.278,54

La potencia necesaria anual será: Potencia Total = 6.114,23 kWh

Por último, se calcula el número de captadores:

$$n^{\circ} \text{ captadores} = \frac{\text{Potencia}}{\text{Superficie}} = \frac{\text{Aporte solar}}{\text{Superficie útil captador}} = \frac{6114,23}{2,25} = 2,1$$

El resultado de la relación demanda/aporte es de 2 captadores, equivalente a una cobertura de aproximadamente un 12%. Si se quiere una cobertura mayor, se tiene que incrementar el número de captadores. Para una cobertura de un 32% se necesitarían 5 de ellos.

Tabla 3.15 Demanda de calefacción por meses.

Demanda de calefacción					
Mes	Horas calef.	Dem. Calef. kWh/mes	Aporte solar kWh/mes	E. Aux. Calef. kWh/mes	Cobertura
Enero	8,00	1.335,38	160,10	1.194	12,0
Febrero	8,00	1.055,38	278,89	789	26,1
Marzo	8,00	918,08	428,23	492	46,3
Abril	0,00	0,00	548,29	0	0,0
Mayo	0,00	0,00	719,57	0	0,0
Junio	0,00	0,00	877,98	0	0,0
Julio	0,00	0,00	1.128,82	0	0,0
Agosto	0,00	0,00	1.057,76	0	0,0
Septiembre	0,00	0,00	752,07	0	0,0
Octubre	8,00	584,23	475,06	103	8,13
Noviembre	8,00	969,23	171,89	816	17,7
Diciembre	8,00	1.251,92	108,23	1.167	8,6
		6.114,23	6.551,90		32%

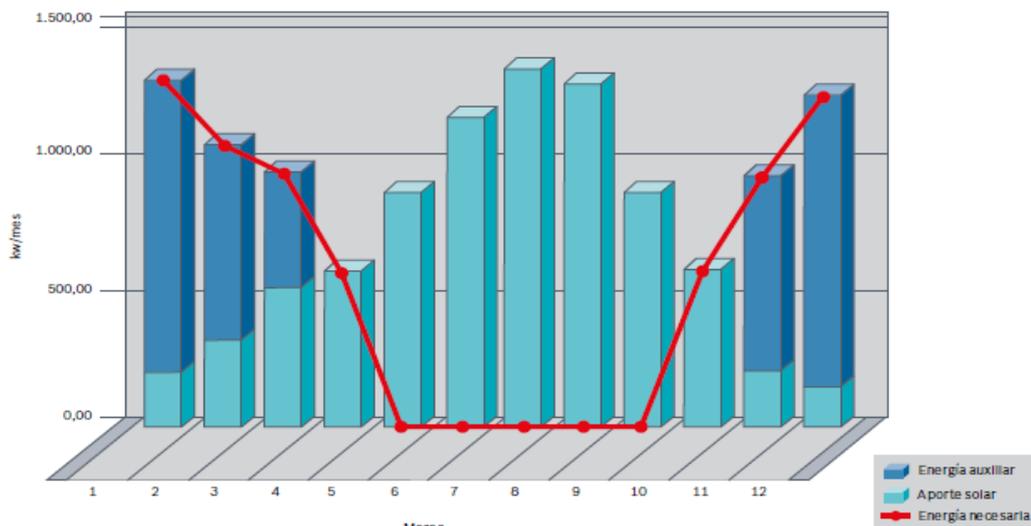


Figura 3.38 Aporte solar calefacción.

3.3.2 Componentes de un sistema de captación solar térmica

3.3.2.1 El sistema de captación

Es el elemento principal de cualquier sistema de energía solar térmica. Tiene como misión captar la energía solar incidente y transmitirla al fluido que circula por él.

En cuanto al tipo de captadores que forman el sistema de captación para la producción de A.C.S., los hay de placa plana, tubos de vacío y sistemas compactos o termosifones. En el caso de captadores para piscinas, destacar que son de aplicación válida los anteriores pero que existen captadores especiales que no poseen ni cubierta, ni aislante, ni carcasa.

Captador plano

Ofrecen una gran selectividad, que es la propiedad de absorber radiación solar en zona activa y reflejar en zona de pérdidas. Se componen básicamente de:

- Cubierta: provoca el efecto invernadero y asegura la estanqueidad. Puede ser de vidrio o de plástico.
- Placa absorbente: recibe la radiación solar, la transforma en calor y la cede al fluido. Posee un recubrimiento que lo convierte en cuerpo negro y, por lo tanto, consigue una alta absorción.
- Aislante: disminuye las fugas de calor internas. Debe ser de un material resistente a temperaturas altas, inerte a la humedad y que no desprenda sustancias tóxicas.
- Carcasa: contiene y soporta los elementos anteriores y los protege de la intemperie. Debe poseer alta resistencia a las temperaturas, corrosión, degradación química y radiación ultravioleta.

Estos captadores se adaptan perfectamente a cualquier tipología de instalación debido a su modularidad, pudiendo dimensionarse el sistema de captación según los sistemas de acumulación, de control y apoyo auxiliar.

Captador de tubos de vacío

De estos captadores de alto rendimiento, cabe destacar:

- Evitan pérdidas por convección entre tubos y vidrio.
- Garantizan alta absorción y mínima emisión.
- Cada tubo tiene integrado un absorbente y en el tubo coaxial se produce el intercambio calorífico.

Su característica fundamental es un rendimiento óptimo, incluso para temperaturas ambiente bajas, por lo que son idóneos

para trabajar en aplicaciones de calefacción a alta temperatura y procesos industriales de alta temperatura o refrigeración.

3.3.2.2 El sistema de acumulación

La necesidad de energía no siempre coincide en el tiempo con la captación que se obtiene del sol, por lo que es necesario disponer de un sistema de acumulación que haga frente a la demanda en momentos de poca o nula radiación solar, así como a la acumulación energética producida en los momentos de poco o nulo consumo.

El acumulador es el sistema de almacenamiento de energía.

Lo ideal sería hacer coincidir el consumo diario con el volumen del depósito, ya que la radiación solar y el aporte de energía no coincide con la demanda. Como ya se adelantó para aplicaciones de A.C.S., el CTE de 2013 y en la Guía Técnica de Energía Solar Térmica de ASIT se marca que la relación de ajuste para definir el depósito de acumulación está relacionada con el número de captadores que producirán energía en la instalación:

El sistema de acumulación debe disponer de un volumen suficiente para almacenar toda la energía captada diariamente por el sistema de captación solar siendo recomendable al menos disponer de una relación entre volumen de acumulación V en litros y superficie de captadores A en m^2 de $V/A = 75$ litros/ m^2 , o al menos en el siguiente margen:

$$50 < V/A < 180$$

Cuando existen demandas grandes, se puede disponer de dos depósitos bien en serie o en paralelo. Preferentemente se hará en serie, aunque en caso de conectarlos en paralelo, hacerlo en retorno invertido para así equilibrar la pérdida de carga a lo largo de las tuberías.

La mejor disposición del acumulador es vertical, ya que de esta forma se favorece la estratificación, que no es más que una división del depósito en niveles diferenciados de temperatura, consiguiendo así enviar el A.C.S. más caliente y el retorno a captadores lo más frío posible, aumentando el rendimiento de la instalación. Es conveniente mantener una relación entre la altura y el diámetro del depósito mayor a 2 y ubicarlo preferentemente en interiores.

La entrada de agua fría se hará por la parte inferior y la salida por la superior, ya que el agua fría pesa más y se queda en la parte baja mientras que el agua caliente sube por diferencia de densidades.

Es conveniente que la entrada de agua de primario al acumulador se realice a una altura del 50% al 75% de la altura total del depósito.

La acumulación de calor sensible en líquido o agua caliente pueden tener dos fines determinados:

- Acumulación de inercia. Utiliza un fluido intermedio en circuito cerrado que no se consume directamente que normalmente es agua y que no precisa tratamiento sanitario.
- Acumulación de consumo. Contiene siempre agua para consumo humano que debe tener la calidad sanitaria correspondiente.

3.3.2.3 El sistema de circulación y elementos del circuito primario

En un sistema solar térmico se pueden diferenciar dos circuitos:

- Circuito primario: está formado por el sistema de captación, el intercambiador de energía y el grupo de bombeo.
- Circuito secundario: es el sistema al que se transfiere la energía para distribuirla a los puntos de consumo. Está formado por la instalación de suministro a éstos y el sistema de acumulación que puede ser, un intercambiador de calor dentro de un acumulador, o un segundo grupo de bombeo con el correspondiente acumulador-intercambiador.

En el trazado de las conducciones del fluido caloportador, se tendrá en cuenta:

- Utilizar componentes metálicos, como el cobre y el acero inoxidable.
- Colocar válvulas antirretorno para prever el flujo inverso.
- Montar el mínimo número de codos.
- Considerar la dilatación de las tuberías y el aislamiento de las mismas, debido a que por ellas circulará un fluido caloportador con un contenido de glicol disuelto en agua que podrá alcanzar altas temperaturas.

3.3.2.3.1 El vaso de expansión

Todos los circuitos cerrados necesitan un vaso de expansión que absorba las dilataciones del fluido caloportador provocadas por el aumento de temperatura. Hay que tener especial cuidado en el diseño, ya que éste debe ser suficiente para soportar la expansión del fluido. Es por ello por lo que es conveniente seguir las siguientes recomendaciones:

- Conocer el volumen de la instalación en litros.
- En el caso de que el fluido pueda evaporarse, hay que realizar un dimensionado especial del volumen. El vaso deberá ser capaz de absorber el volumen de toda la instalación más un 10%.
- Temperatura mínima y máxima que pueda alcanzar el agua durante el funcionamiento de la instalación.

- Presión mínima y máxima de servicio medida en bar.
- La presión máxima en frío será superior a 1,5 kg/cm² y en caliente inferior al tarado de los componentes.
- Se recomienda colocarlo en la aspiración de la bomba.

3.3.2.3.2 El grupo de bombeo

Un grupo de bombeo sirve para permitir un funcionamiento equilibrado de una instalación solar.

Entre sus componentes principales hay que destacar:

- Termómetros integrados.
- Grupo de seguridad compuesto por válvula de seguridad y manómetro.
- Antirretorno tanto en impulsión como en retorno para evitar la circulación por termosifón.
- Bomba de circulación para transportar el fluido caloportador desde el sistema de captadores hasta el acumulador o puntos de consumo.
- Limitador de caudal con llave de cierre.

En cuanto a las recomendaciones a tener en cuenta con respecto a la instalación solar:

- Las tuberías situadas entre el campo de captadores y el acumulador deben conectarse a tierra para evitar diferencias de potencial.
- Si la instalación es de más de 50 m² de captación, se recomienda montar dos bombas iguales en paralelo quedando una en reserva tanto en primario como en secundario.
- El dimensionado de la bomba depende de:
 - Caudal: el fluido caloportador se calcula en función de la superficie total de los captadores instalados. Podemos tomar como referencia un caudal que puede oscilar entre 1,2 l/s y 2 l/s por cada 100 m² de área de captador. Podemos hablar de unos 50 l/h por m² de captador como cálculo aproximado en instalaciones de captadores planos para suministro de A.C.S.
 - El ajuste de caudal se realiza en función de las diferentes velocidades de la bomba y los mandos reguladores de caudal. Dicho caudal es medible con un caudalímetro.

3.3.2.3.3 Sistema de regulación y control

Una correcta regulación de la instalación implica obtener un rendimiento óptimo y evitar situaciones adversas que afectarían al funcionamiento normal de la instalación.

Hay dos parámetros a tener en cuenta de cara a la correcta regulación que determinan el funcionamiento de la bomba de primario:

- Temperatura media del captador.
- Caudal del fluido que circula por el captador.

Si la diferencia entre la temperatura media del captador y la temperatura ambiente es muy grande, el rendimiento del captador y, por lo tanto, de la instalación disminuirá. Es conveniente tener en cuenta que la temperatura de salida de los captadores debe ser lo más cercana posible a la de consumo y la temperatura de retorno hacia el sistema de captadores lo más baja posible, así se aumenta el rendimiento de la transmisión de calor.

El CTE de 2013 y la Guía Técnica de Energía Solar Térmica de ASIT dispone que el funcionamiento de las bombas se regula mediante un control de tipo diferencial. Este sistema actúa mediante la comparativa de temperaturas medidas en salida del sistema de captadores y en la parte baja del depósito de acumulación, es decir, entre el punto teórico más caliente y el más frío de la instalación:

- Bomba *off*: si la diferencia de temperaturas es menor de 2 °C.
- Bomba *on*: si la diferencia de temperaturas es mayor de 7 °C.

El cuadro de valores de consigna ajustado en el proceso de puesta en marcha, permitirá detectar si las funciones del sistema de control se realizan adecuadamente. Para evaluar el funcionamiento del sistema eléctrico y de control se deben conocer los valores de consigna y las operaciones establecidas.

Tabla 3.16 Valores de consigna a evaluar.

Parámetro a controlar	Valor mínimo (°C)	Valor máximo (°C)
Control diferencial de temperaturas	2 - 3	5 - 7
Temperatura máxima de acumulador solar (*)	75	80
Temperatura máxima del circuito primario	90	100
Temperatura del sistema de protección contra heladas	3	5

La medición de la temperatura se realiza mediante sondas. Estas sondas poseen un valor de resistencia que varía de forma directa con la temperatura (a medida que aumenta la temperatura aumenta la resistencia). La medición puede realizarse con sondas inmersas en el fluido (es el dato más fiable) y con sondas de contacto ubicadas en la tubería.

3.3.2.3.4 Equipo auxiliar de apoyo

Es imprescindible disponer de un sistema de energía auxiliar, ya que el sol no puede cubrir completamente la demanda energética que se produce a lo largo del año. El objetivo es que el sistema sólo entre en funcionamiento cuando sea de suma necesidad y que, por lo tanto, siempre sea prioritaria la aportación solar.

Para su diseño hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- En el circuito primario se prohíbe el sistema de apoyo convencional.
- Los sistemas de apoyo sólo entrarán en funcionamiento cuando sea estrictamente necesario.
- En aquellos casos en los que el aparato sea una fuente instantánea, el equipo de apoyo será modulante capaz de ajustar la temperatura de salida en función de la temperatura de entrada.

Se introduce un nuevo concepto de energía auxiliar mediante la incorporación de calderas de condensación, con este tipo de aparatos la eficiencia energética está asegurada y además contamos con un equipo auxiliar de apoyo instantáneo, no es necesario aportar la energía auxiliar en el depósito de acumulación, reduciendo así pérdidas. La tipología de energía auxiliar depende en gran medida del confort que se requiera en la vivienda o bloques de viviendas.

Se puede clasificar en tres grupos:

- Aparatos modulantes hidráulicamente: aquellos en los que la modulación del consumo de gas no la realizan por temperatura, sino por caudal. Son aparatos compatibles con sistemas de energía solar y están pensados para trabajar en serie junto con un kit solar que adecua el correcto funcionamiento de la instalación. En general, estamos hablando de aparatos de producción de A.C.S.
- Aparatos modulantes termostáticamente: son todos aquellos aparatos que ajustan el consumo por la comparativa de la temperatura de entrada con respecto a la de consigna. Son aparatos que trabajan directamente con el agua proveniente de una instalación solar. En este caso, los aparatos más comunes son de producción mixta de A.C.S. y calefacción.
- Aparatos de acumulación: son aparatos que están pensados para trabajar en serie con un sistema solar. No necesitan de ninguna adaptación para hacerlos compatibles con un sistema de este tipo, ya que la forma de trabajar sería como tener en la instalación dos acumuladores en serie. En estos casos aumentamos los volúmenes de acumulación y las pérdidas.

3.3.3 Tecnología solar para abastecimiento de A.C.S. en bloques de viviendas multifamiliares

3.3.3.1 Sistema de instalación con depósitos individuales

Descripción del sistema:

- Soluciones para casas plurifamiliares con 3 o más viviendas.
- Sólo para calentamiento de A.C.S.
- Campo de colectores centralizado con acumuladores de A.C.S. descentralizados y calefacción adicional descentralizada.
- Acumuladores de A.C.S. en cada vivienda.
- Posición WMZ (contador de calor):
 - Para registrar la energía que produce únicamente el campo de colectores, el contador de calorías con el correspondiente sensor de temperatura se debe instalar por encima de la línea del disipador de calor.
 - Para registrar la energía solar aprovechable, el contador de calorías con el correspondiente sensor de temperatura se debe instalar por debajo de la línea del disipador de calor.

Componentes del sistema:

- Campo de colectores, incluido el sistema de montaje.
- Estación solar con bomba.
- Acumuladores de A.C.S. para cada vivienda.
- Bomba centralizada para carga del circuito.
- Regulación solar y carga de circuitos.

Ventajas:

- Ideal para el equipamiento de instalaciones de producción del A.C.S. ya existentes con calentamiento descentralizado.
- Gran seguridad de planificación.
- Aprovechamiento de la energía solar para la producción de A.C.S. con un acumulador individual en cada vivienda.

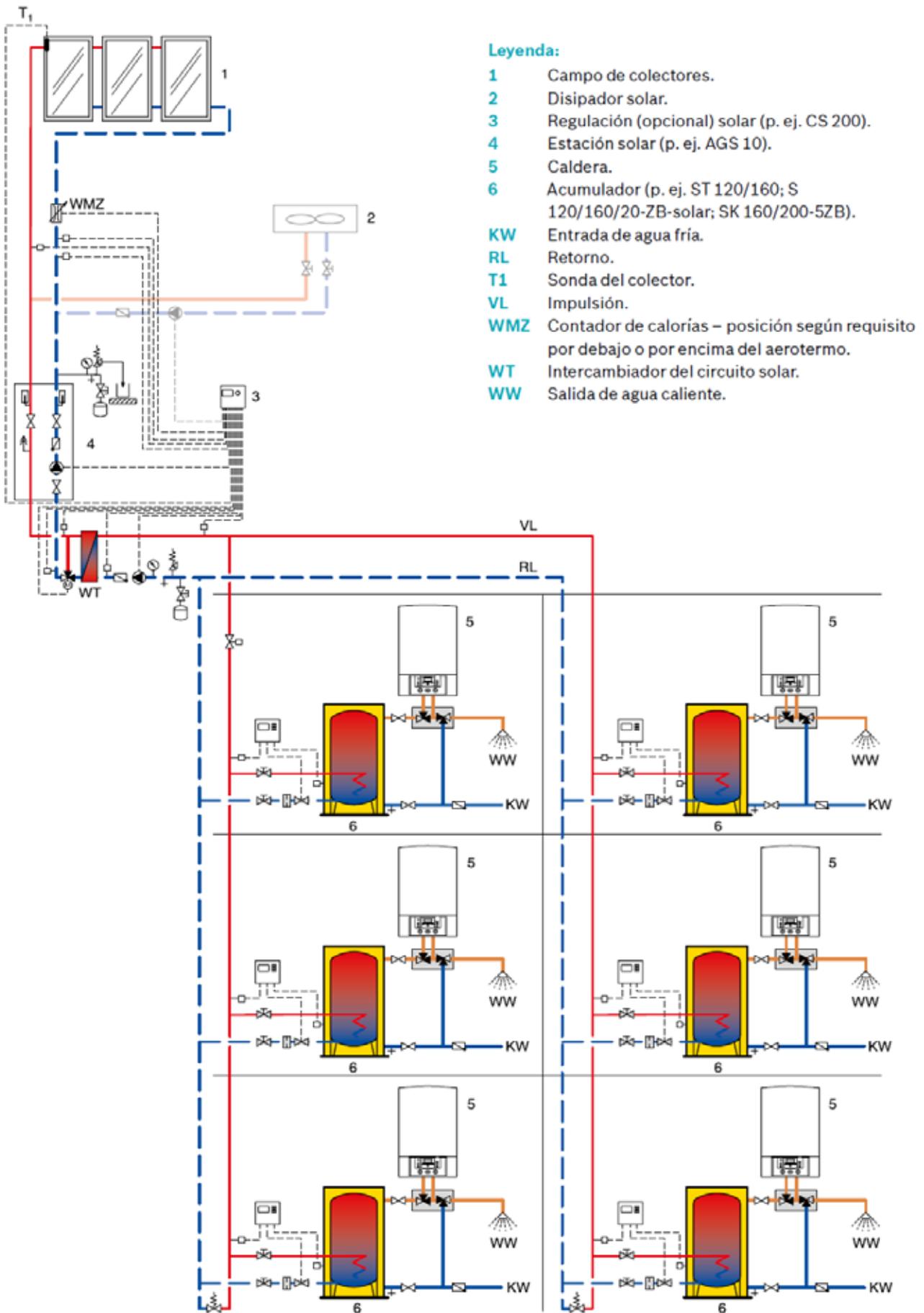


Figura 3.39 Sistema de instalación con depósitos individuales.

3.3.3.2 Sistema de instalación con intercambiadores por vivienda

Descripción del sistema:

- Soluciones para casas plurifamiliares con 3 o más viviendas.
- Sólo para calentamiento de A.C.S.
- Campo de colectores centralizado con acumulador de A.C.S. centralizados y calentamiento auxiliar descentralizado.
- Considerar la instalación para cada vivienda de un kit hidráulico de mezcla previo a la caldera individual instalada en el interior de la vivienda. Si se instala un sistema sin válvula mezcladora integrada, se debe montar válvula mezcladora central a la salida del acumulador central que limite la temperatura del circuito de distribución a 60°C.
- Posición WMZ (contador de calor):
 - Para registrar la energía que produce únicamente el campo de colectores, el contador de calorías con el correspondiente sensor de temperatura se debe instalar por encima de la línea del dissipador de calor.
 - Para registrar la energía solar aprovechable, el contador de calorías con el correspondiente sensor de temperatura se debe instalar por debajo de la línea del dissipador de calor.

Componentes del sistema:

- Campo de colectores incluido el sistema de montaje.
- Estación solar con bomba.
- Acumulador.
- Bomba centralizada para carga del circuito.
- Kit o conjunto hidráulico de mezcla individual en cada vivienda.
- Regulación del circuito solar y carga del circuito.

Ventajas:

- Ideal para el equipamiento de instalaciones de producción del A.C.S. ya existentes con calentamiento descentralizado.
- Alto nivel de seguridad.
- Utilización de la energía solar para la producción de A.C.S.
- Menores costes de inversión que en el caso de un sistema con acumuladores de A.C.S. individual.
- Menor espacio necesario en la vivienda.

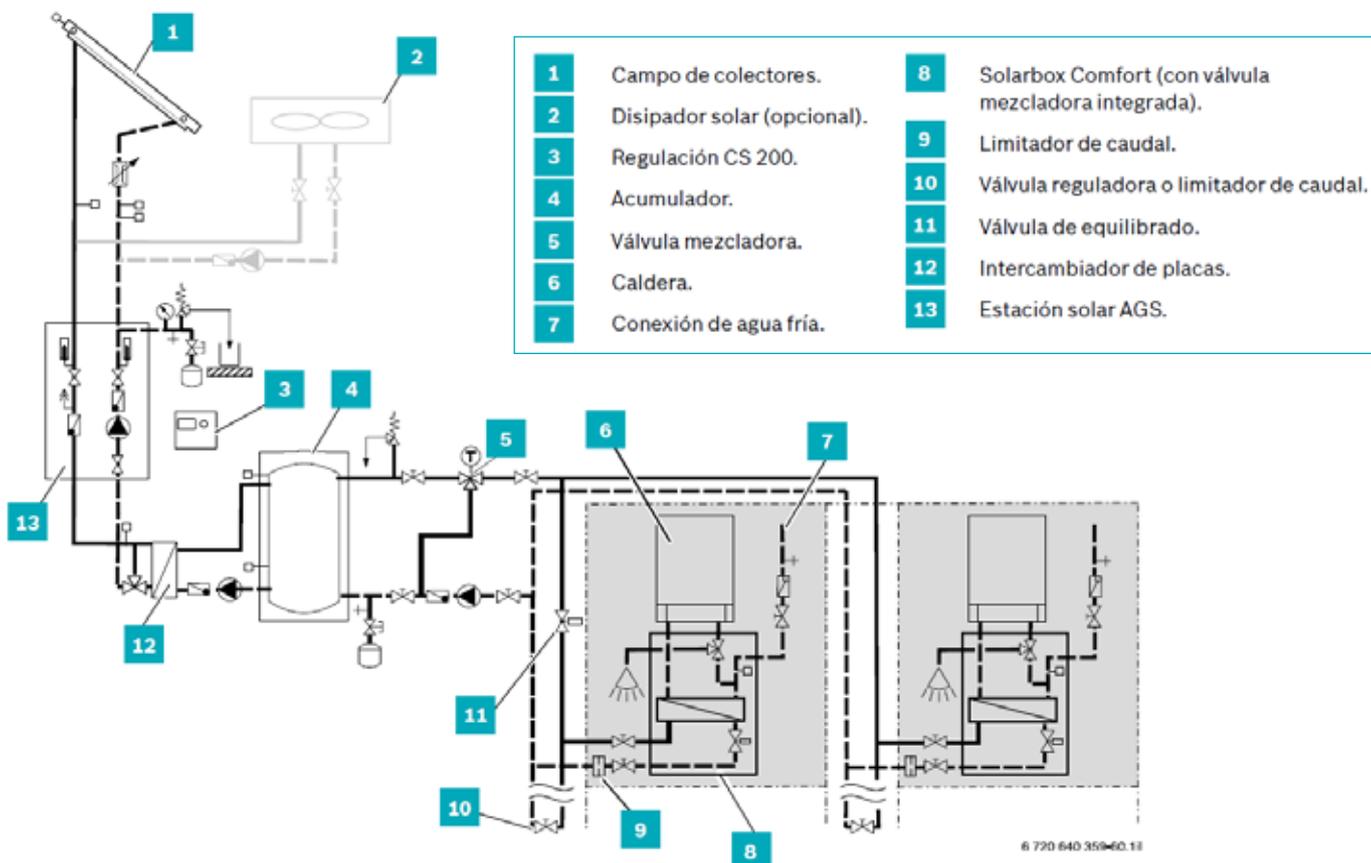


Figura 3.40 Sistema de instalación con válvula mezcladora integrada.

3.3.3.3 Sistema de instalación con depósito centralizado

Descripción del sistema:

- Soluciones para casas plurifamiliares a partir de 2 viviendas.
- Sólo para calentamiento de A.C.S.
- Campo de colectores centralizado con acumulador centralizado de A.C.S. y calefacción adicional descentralizada.
- Posición WMZ (contador de calor):
 - Para registrar la energía que produce únicamente el campo de colectores, el contador de calorías con el correspondiente sensor de temperatura se debe instalar por encima de la línea del disipador de calor.
 - Para registrar la energía solar aprovechable, el contador de calorías con el correspondiente sensor de temperatura se debe instalar por debajo de la línea del disipador de calor.

Componentes del sistema:

- Campo de colectores incluido el sistema de montaje.
- Estación solar con bomba.
- Acumulador solar para A.C.S.
- Bomba centralizada para carga del circuito.
- Regulación solar y carga de circuito.

Ventajas:

- Ideal para el equipamiento de instalaciones de producción del A.C.S. de nueva construcción.
- Gran seguridad de planificación y control.
- Aprovechamiento de la energía solar para la producción de A.C.S.
- Menores costes de inversión.
- Menor espacio necesario en la vivienda.

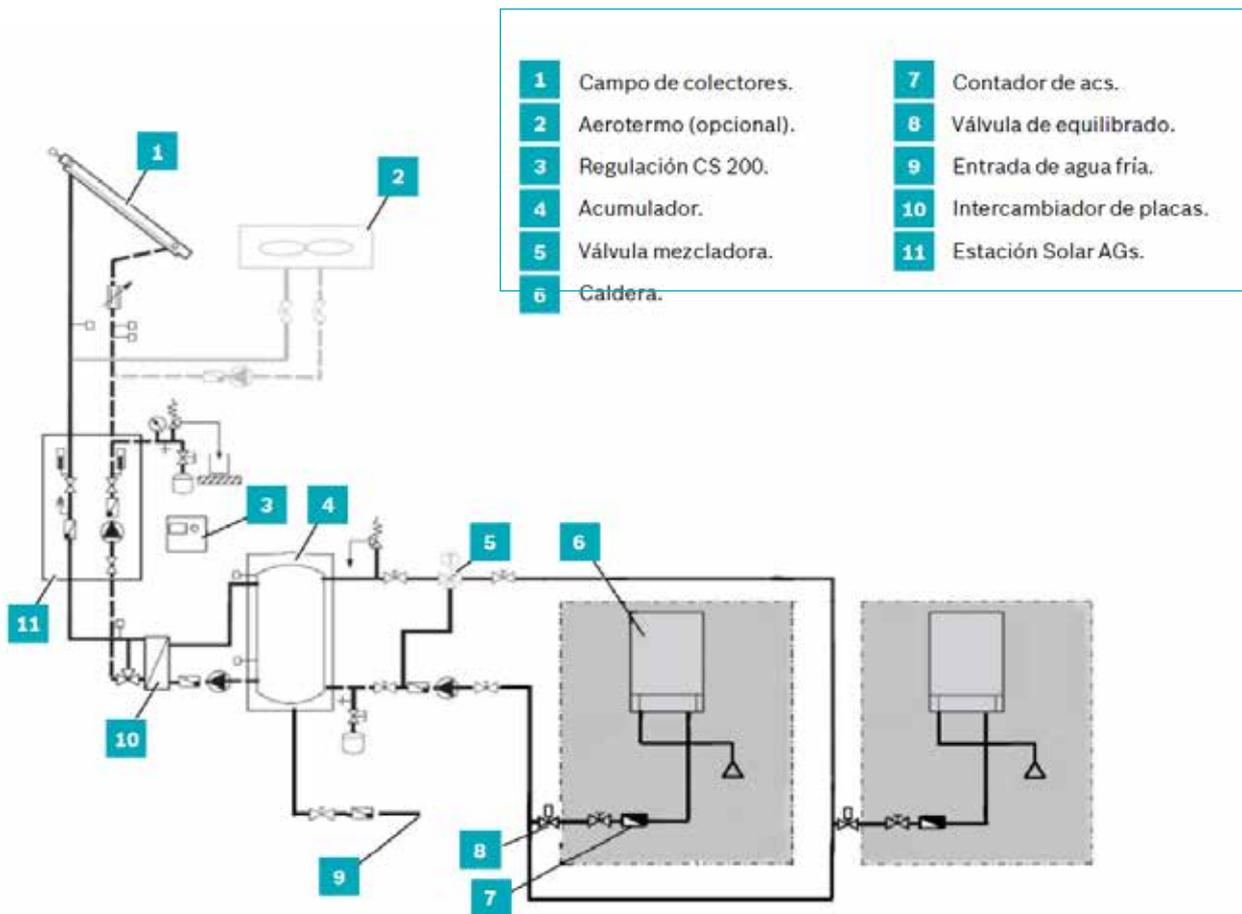


Figura 3.41 Sistema solar con depósito centralizado.

3.3.3.4 Sistema de instalación con depósito y equipo de apoyo auxiliar centralizados

Descripción del sistema:

- Soluciones para casas plurifamiliares a partir de 2 viviendas.
- Sólo para calentamiento de A.C.S. y calderas de sólo calefacción.
- Campo de colectores centralizado con acumulador centralizado de A.C.S. y calefacción adicional centralizada.
- Posición WMZ (contador de calor):
 - Para registrar la energía que produce únicamente el campo de colectores, el contador de calorías con el correspondiente sensor de temperatura se debe instalar por encima de la línea del disipador de calor.
 - Para registrar la energía solar aprovechable, el contador de calorías con el correspondiente sensor de temperatura se debe instalar por debajo de la línea del disipador de calor.

Componentes del sistema:

- Campo de colectores incluido el sistema de montaje.
- Estación solar con bomba.
- Acumulador solar para A.C.S.
- Bomba centralizada para carga del circuito.
- Regulación solar y carga de circuito.

Ventajas:

- Ideal para el equipamiento de instalaciones de producción del A.C.S. de nueva construcción.
- Gran seguridad de planificación y control.
- Aprovechamiento de la energía solar para la producción de A.C.S.
- Menores costes de inversión al repartirlos entre los usuarios.
- Costes de mantenimiento repartido entre la comunidad de usuarios.
- Menor espacio necesario en la vivienda.

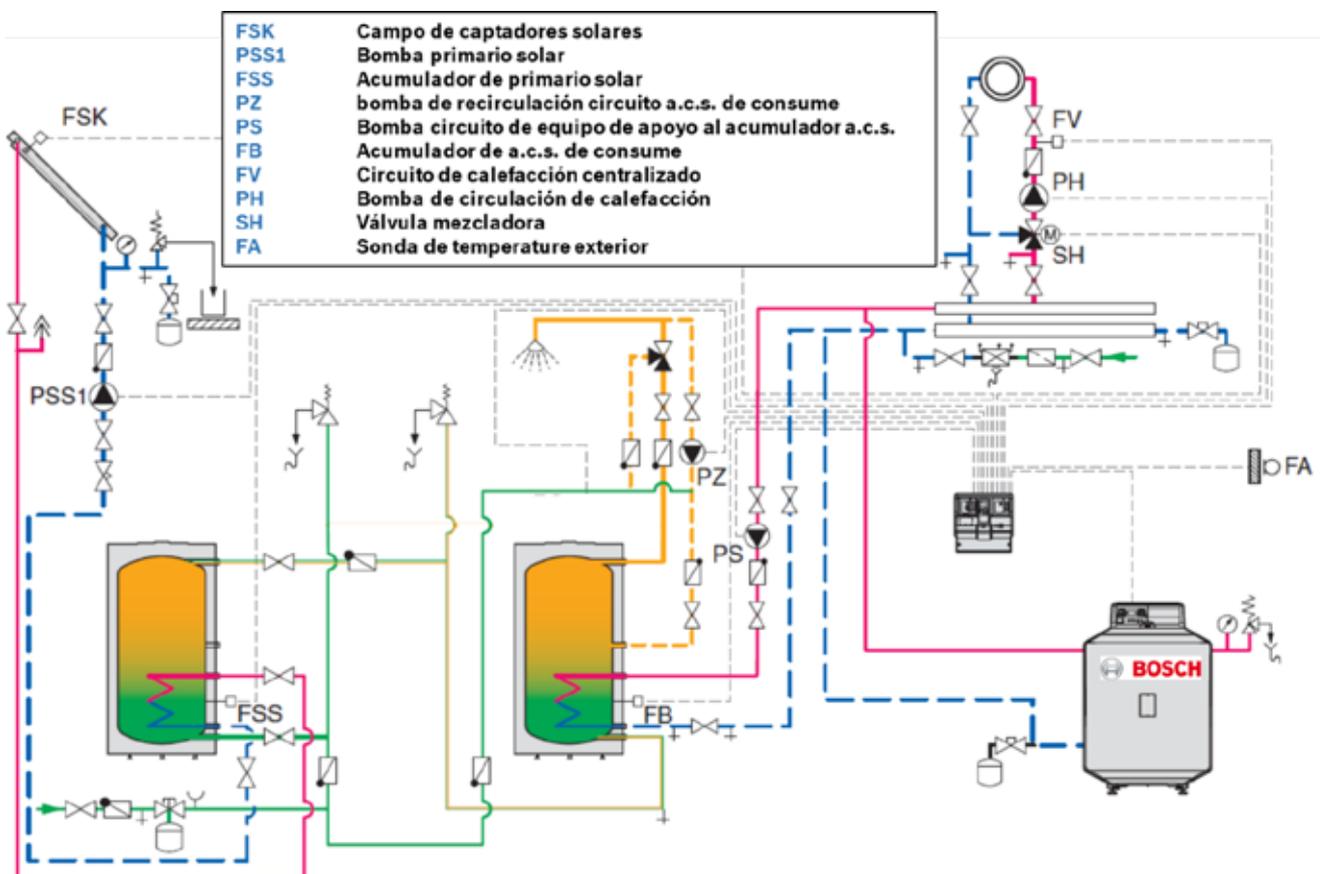


Figura 3.42 Instalación de depósito y equipo de apoyo auxiliar centralizados.

3.4 ENERGÍAS RENOVABLES. GEOTERMIA

3.4.1 Introducción

Las diferentes transposiciones de la Directiva Europea 2002/91 han venido estableciendo una serie de medidas para la mejora de la eficiencia energética en los sistemas de generación, distribución y consumo de la energía para la climatización de edificios. Éstas inciden directamente en la reducción del consumo energético, la mejora de la calidad de las instalaciones térmicas y la incorporación de fuentes renovables y energías residuales; además, su justificación técnica ha de contemplar el conjunto del edificio, su uso y su entorno a lo largo de la vida útil del mismo.

Por lo tanto, las políticas energéticas vinculadas a la reducción de los efectos del cambio climático global afectan a nuestra normativa en materia edificatoria desde hace más de una década, y han modelado en la sociedad una conciencia energética subyacente crítica con el modelo edificatorio convencional.

A día de hoy, los avances que se producen en las nuevas tecnologías para la eficiencia energética y para la captación de fuentes renovables son, en general, asimilados fácilmente y demandados por el conjunto de la sociedad, tal y como sucede en otros sectores tan familiares como el de la automoción o el de las tecnologías de la información y la comunicación. Claro ejemplo de esta adaptación social es el conocimiento ya habitual de la geotermia como fuente de climatización renovable, la cual se entiende como una fuente de calor proveniente del terreno para la generación de calor y de frío en edificios.

3.4.2 Conceptos básicos

3.4.2.1 El subsuelo como fuente de calor

A partir de los 5 metros de profundidad y sin importar la estación del año en que nos encontremos, la temperatura del terreno bajo nuestros pies se empieza a mitigar, alcanzando unos 15 °C entre los 15 y los 20 metros. Y entre los 20 metros y los 200 metros de profundidad, la temperatura sigue aumentando hasta alcanzar unos 30 °C. Ello es debido en parte al gradiente geotérmico natural que incrementa la temperatura del terreno en 3 °C cada 100 metros, pero principalmente se debe a la energía exterior procedente de la radiación solar sobre la corteza terrestre. En otras palabras, en ausencia de alteraciones antrópicas o anomalías geológicas, la temperatura del subsuelo en los primeros 200 metros de profundidad se mantiene constantemente a una temperatura próxima a la de confort térmico de las personas: este fenómeno geológico se denomina geotermia de muy baja temperatura o geotermia de muy baja entalpía (< 30°C), y supone una fuente de energía renovable y autóctona para la climatización y refrigeración de edificios.

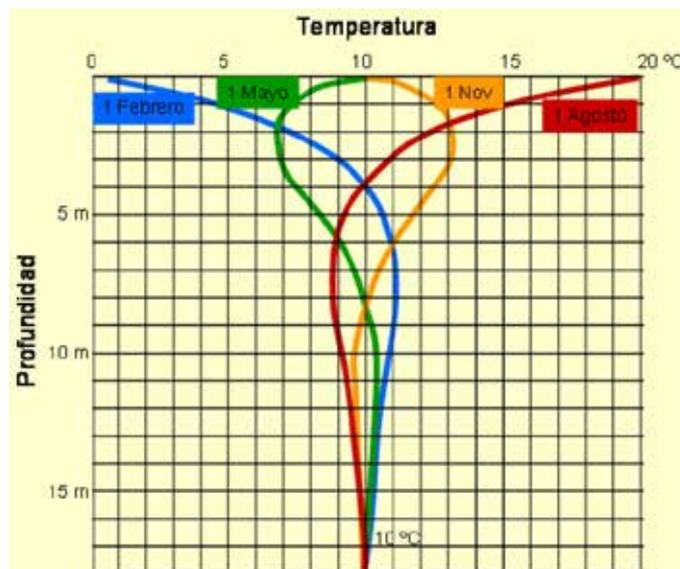


Figura 3.43 Temperatura del subsuelo para distintas épocas del año. Fuente: Guía de la Energía Geotérmica. Fenercom, 2008.

Por debajo, entre los 200 y los 3.000 metros de profundidad, la temperatura del subsuelo sigue aumentando hasta alcanzar los 90 °C, pasando a considerarse geotermia de baja temperatura. A diferencia del tramo anterior más superficial, la energía térmica en este caso proviene principalmente de las fuerzas magnetotélúricas vinculadas a los procesos de interacción entre la corteza y el manto terrestre, y en ocasiones también se debe a anomalías térmicas geológicas o hidrogeológicas. Es decir, se trata de energía del interior de la Tierra que puede emplearse para usos directos en calefacción o procesos semiindustriales con demanda de calor.



Figura 3.44 Anomalía geotérmica aprovechada para usos industriales. Tunel Lötschberg, Suiza. Fuente: Enercret.

A más de 3.000 metros de profundidad, no sólo el gradiente geotérmico mantiene su incremento, sino que además las anomalías térmicas asociadas a procesos ígneos activos son más acentuadas: el terreno puede alcanzar los 150 °C y pasa a considerarse geotermia de media temperatura. En este caso, la energía puede emplearse para usos directos de calor en

procesos de alta temperatura, o bien mediante la tecnología actual de ciclo binario que emplea un fluido intermedio, se puede generar electricidad con rendimientos aceptables incluso partiendo de temperaturas inferiores a 90 °C.

Por último, a mayores profundidades (más de 5.000 metros), o en zonas afectadas por procesos geológicos profundos, tales como los procesos tectónicos de subducción, vulcanismo, etc., la temperatura del terreno supera los 150 °C, pasando a considerarse geotermia de alta temperatura. En estos casos es posible el uso de la energía para la producción eléctrica en centrales de vapor seco convencionales o centrales tipo *Flash*.

En general, los avances en nuevas tecnologías para la explotación geotérmica están abriendo el campo de aplicación y, por lo tanto, incrementando las reservas de este recurso energético.

3.4.2.2 Extracción del calor circulando agua por el interior de sondas

De cara a satisfacer los objetivos de esta Guía, conviene acotar la cuestión al ámbito de la geotermia de muy baja entalpía

mediante sistemas cerrados, pues es el método más extendido de extracción del calor a baja temperatura y para profundidades menores de 200 metros.

En este sentido, cabe destacar que las formaciones geológicas que conforman el terreno bajo nuestras ciudades, además de calor, presentan propiedades físicas favorables para la transferencia y el almacenamiento de energía (conductividad térmica “λ” y capacidad térmica volumétrica “C”, respectivamente). Estas propiedades, entre otras, permiten “manejar” el calor a baja temperatura del subsuelo y transportarlo hasta la superficie para calentar un edificio en invierno, o en verano retirar el calor del mismo para introducirlo en el terreno, pero en ambos casos difundiéndolo y almacenándolo según las necesidades energéticas.

El proceso de captación, transporte y disipación de calor del subsuelo a baja temperatura, se lleva a cabo circulando un fluido entre el foco y el sumidero. En general, el fluido es agua o agua glicolada y circula por tuberías en circuito cerrado denominadas sondas geotérmicas, las cuales están fabricadas en polímeros de alta resistencia a la temperatura y a la fricción (habitualmente polietileno de altas prestaciones).



Figura 3.45 Captación de calor del subsuelo mediante sondas geotérmicas. Fuente: ANESE; Eneres.

Existen, además, otras formas de captación de energía geotérmica a baja temperatura, bien por conductos enterrados de aire, aprovechando redes de alcantarillado o mediante el bombeo de aguas subterráneas, entre otras. Algunas de estas alternativas se explicarán más adelante.

3.4.2.3 La bomba de calor

Dado que el calor fluye del foco de mayor temperatura al de menor temperatura en línea con el primer principio de la termodinámica, el calentamiento gratuito mediante geotermia consiste en transferir calor de forma directa desde el terreno (foco de calor), al edificio (sumidero de calor); inversamente, el enfriamiento gratuito mediante geotermia consiste en transferir calor de forma directa desde el edificio (foco de calor), al terreno (sumidero de calor). Este es un modelo de explotación a baja temperatura de muy elevado rendimiento que se da en condiciones térmicas muy particulares, pero, salvo algunas excepciones, es muy poco flexible.

Ahora bien, para un aprovechamiento más eficiente, se recurre al trabajo aportado por el compresor de una bomba de calor, de modo que es posible extraer calor de un foco a menor temperatura que el sumidero (en línea con el segundo principio de la termodinámica), o lo que es lo mismo, se puede “bombear” calor del terreno al edificio incluso si el edificio está más caliente que el terreno (y viceversa).

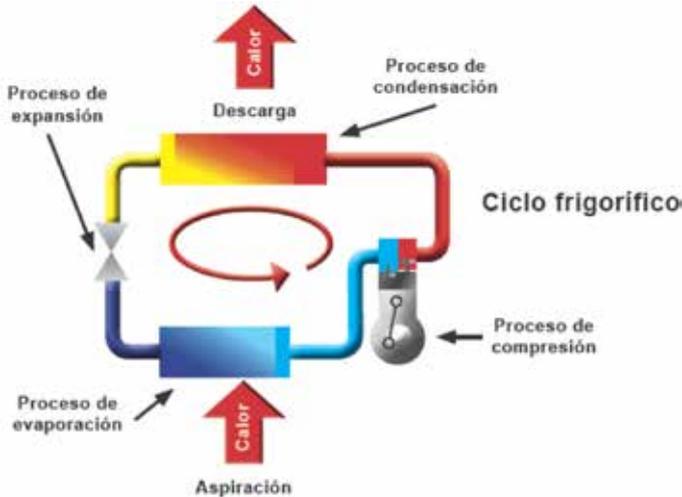


Figura 3.46 Esquema de funcionamiento de una bomba de calor geotérmica. Fuente: AFEC, Jornada sobre climatización y producción de ACS con bombas de calor, 2016.

Esto, junto con las propiedades físicas del terreno, hacen de la geotermia de muy baja entalpía la energía renovable y autóctona más eficiente y versátil para la climatización (calefacción y refrigeración) de edificios.

3.4.2.4 Instalaciones centralizadas de climatización con fuentes geotérmicas

El éxito de una instalación geotérmica de baja temperatura radica principalmente en el elevado rendimiento energéti-

co estacional obtenido, hasta el punto de que es considerada una fuente renovable. No obstante, la producción de calor y frío mediante bombas de calor geotérmicas se ve optimizada cuando está ligada en el lado del edificio a sistemas de distribución de calor y frío de temperaturas moderadas, tales como suelos y techos radiantes, o forjados termoactivos y otras estructuras térmicamente activables.



Figura 3.47 Suelo radiante. Fuente: Eneres.

En este punto es importante diferenciar el concepto de suelo radiante y de forjado termoactivo: en el primero el tubo se instala encima del suelo del espacio a climatizar y sobre él se coloca una fina capa de mortero de entre 4 y 9 cm de espesor, mientras que en el forjado termoactivo el tubo se enlaza en el mallazo metálico del hormigón quedando en el núcleo del forjado estructural del edificio.



Figura 3.48 Forjados termoactivos. Fuente: Eneres.

Como ventaja principal del suelo radiante, cabe destacar la rapidez de respuesta a las consignas de cambio de temperatura y la mayor facilidad en los sistemas de monitorización y control.

Como ventaja principal de los forjados termoactivos, cabe destacar la mayor inercia térmica, lo que permite trabajar a temperaturas más bajas y reducir consumos de energía en la instalación.

En cualquier caso, ambas soluciones favorecen los elevados rendimientos del sistema, la reducción de consumos energéticos y la reducción del espacio necesario para depósitos de inercia en los cuartos técnicos.



Figura 3.49 Sala técnica de una instalación centralizada de calefacción mediante geotermia y elementos radiantes. Fuente: Eneres, 2019.

En caso de trabajar con radiadores convencionales, fancoils o aeroconvectores de temperaturas más extremas, y para la producción de ACS, es conveniente contar con un volumen adecuado de acumulación, en general de al menos 25 litros por cada kW de potencia térmica instalado.

Como conclusión, cabe añadir que los rasgos comunes en todas las instalaciones centralizadas de climatización con fuentes geotérmicas son:

- Ausencia de medidas específicas de seguridad en la sala de producción.
- Excelentes condiciones de salubridad debido al empleo de agua en circuitos cerrados.
- Poca necesidad de espacio, lo que incrementa el espacio útil del edificio.
- Nivel sonoro interior e impacto exterior nulos.
- Son integrables con cualquier otro tipo de tecnología de climatización.
- Los costes de explotación y mantenimiento son muy reducidos.

3.4.3 Principales sistemas de captación geotérmica de muy baja temperatura

Como se ha indicado anteriormente, el sistema más extendido de extracción del calor geotérmico a muy baja temperatura se realiza a profundidades menores de 200 metros, mediante circuitos cerrados de sondas con agua o agua glicolada. Habitualmente, estos bucles se introducen en pozos perforados en el terreno, pero también es posible crear bucles de sondas adaptados en zanjas horizontales a poca profundidad, circuitos enlazados en estructuras para la cimentación de edificios y otras disposiciones de circuitos tubulares en infraestructuras subterráneas tales como túneles o galerías.

3.4.3.1 Geotermia vertical en circuito cerrado

Un campo de captación geotérmico vertical en circuito cerrado se compone de una serie de perforaciones verticales de diversa profundidad y en diversa disposición, generalmente con una separación mínima entre pozos de al menos 6 m. Habitualmente, se trata de perforaciones de entre 75 m y 150 m de profundidad, con diámetro de pozo de entre 127 y 170 mm. En los sondeos se instalan normalmente sondas de simple "U" de 40 mm x 3,7 mm (diámetro y grosor) o doble "U" de 32 mm x 3 mm (diámetro y grosor), de polietileno de alta resistencia térmica y mecánica. Tras la instalación de las sondas, el anular se cementa con mortero geotérmico específico para garantizar el contacto íntimo de la sonda con el terreno.

Las perforaciones geotérmicas se realizan mediante equipo de perforación a rotación con barrido mediante aire comprimido o recirculación de agua, según necesidades del terreno.

La perforación con aire comprimido es una técnica minera para la perforación de suelos consolidados o suelos parcialmente desagregados, pero, en general, se emplea cuando no hay necesidad de soportar las paredes del pozo. La misión del aire comprimido es elevar el material resultante de la perforación y, por ello, debe llevar velocidad muy alta.

En caso de que el terreno esté muy desagregado y el aire comprimido no sea capaz de elevar el detrito hasta la superficie, es necesario perforar inyectando agua mediante circulación directa por el interior de la sarta de perforación. El agua es bombeada desde una balsa en superficie y, al mezclarse con el residuo de perforación, va generando un fluido viscoso y de densidad suficiente para sostener las paredes y para subir el detrito hasta la superficie, donde se decantan las partículas más gruesas y vuelve a inyectarse al sondeo. No conviene que el fluido ascendente exceda cierto nivel de viscosidad ni una velocidad de ascenso elevada para no desestabilizar a su paso las paredes del sondeo. La perforación se realiza con revestimiento simultáneo hasta la formación consolidada, salvo en el caso en que se detecte que el terreno sea inestable en todo el tramo a perforar, pues entonces habrá de entubarse hasta la profundidad máxima del sondeo.

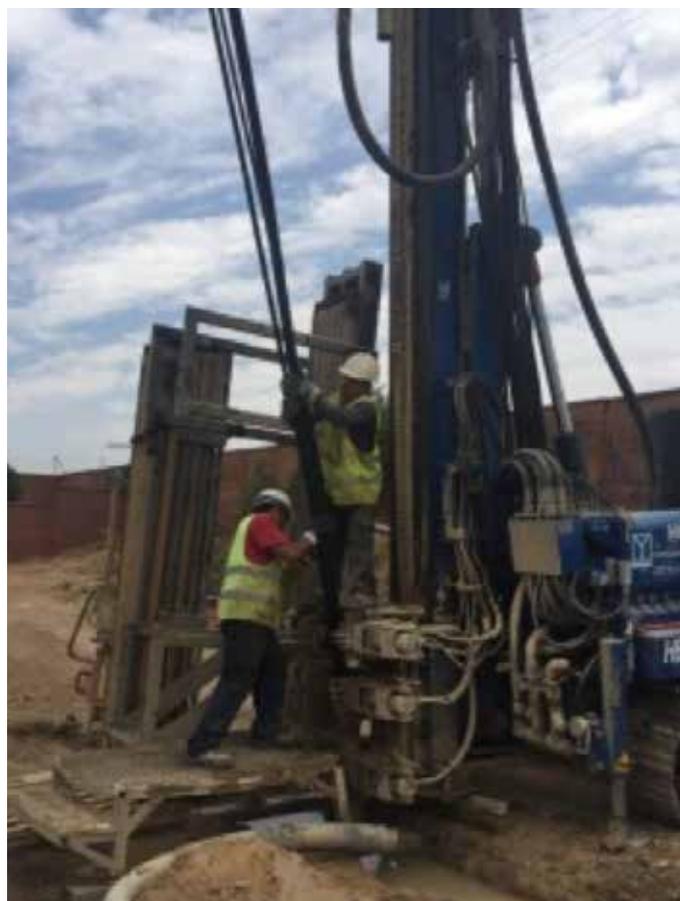




Figura 3.50 Perforación de pozos geotérmicos. Fuente: Eneres.

Para garantizar la seguridad, y para limitar el impacto sobre el ambiente y el subsuelo, los materiales procedentes de la perforación, que se compone de terreno natural mezclado con agua subterránea, se decantan en contenedores o balsas para poder separar la parte sólida de la parte líquida, y así facilitar su gestión y transporte a un centro autorizado. Además, el descenso del intercambiador (sonda) debe realizarse lentamente y con las debidas medidas de seguridad, y durante o después de la introducción de la sonda, pero siempre antes del relleno del espacio anular con mortero geotérmico, los tubos se llenarán de agua y se cerrarán herméticamente por la parte superior para evitar su aplastamiento.

El mortero geotérmico de alta conductividad térmica se inyectará desde el fondo a través de un macarrón de inyección de unos 25 mm de diámetro, para sellar, impermeabilizar y compactar el espacio anular de las perforaciones y asegurar un buen contacto térmico entre el subsuelo y el intercambiador. Anterior y posteriormente a la instalación de las sondas en los pozos, se realizan pruebas de presión para asegurar la integridad de las sondas y su buen funcionamiento.

El rendimiento de este sistema de captación en términos de ratio de extracción geotérmica oscila desde 30 W por metro lineal de sondeo para suelos muy poco transmisivos, hasta

suelos muy transmisivos con ratios de captación por encima de 80 W por metro lineal perforado.

3.4.3.2 Geotermia horizontal en circuito cerrado

Un campo de captación geotérmico horizontal en circuito cerrado consiste en instalar bucles de sondas geotérmicas a poca profundidad, en general a más de 2 metros, las cuales se disponen habitualmente en bucles simple o bucles en muelle. Las sondas habitualmente son de 40 mm de diámetro, circulando caudales próximos a los 2 m³/h.

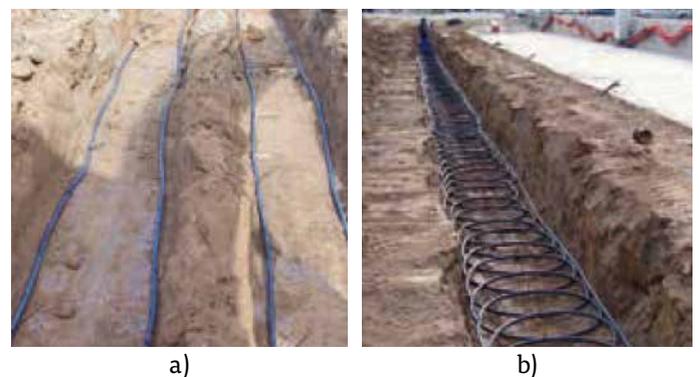


Figura 3.51 Sistema de captación geotérmico horizontal en circuito cerrado: a) bucle simple; b) bucle en muelle. Fuente: IDAE 2012.

La instalación es muy sencilla y la inversión inicial muy inferior a las instalaciones mediante pozos verticales. Por contra, el rendimiento es muy limitado y se necesitan longitudes de sondas de captación con ratios en torno a 40 m de sonda por cada kW de potencia térmica en sala técnica; por ello, las necesidades de espacio libre junto al edificio o próximo a él son el inconveniente principal de este sistema. Para favorecer el intercambio, nunca se ha de pavimentar u hormigonar la superficie sobre el intercambiador, por lo que dicho espacio quedará condenado para este uso a lo largo de la vida útil de la instalación.

3.4.3.3 Cimentaciones termoactivas

La ventajas de este sistema de captación geotérmica radica en el aprovechamiento de la propia estructura del edificio para realizar la captación, en general, a través de pilotes termoactivos, muros pantalla o losas termoactivas. Es necesario que la estructura de cimentación descienda al menos a una profundidad por debajo de los 9 metros, para lograr que la disipación y captación de calor del terreno alcance un rendimiento eficiente y también para minimizar las afecciones térmicas superficiales.

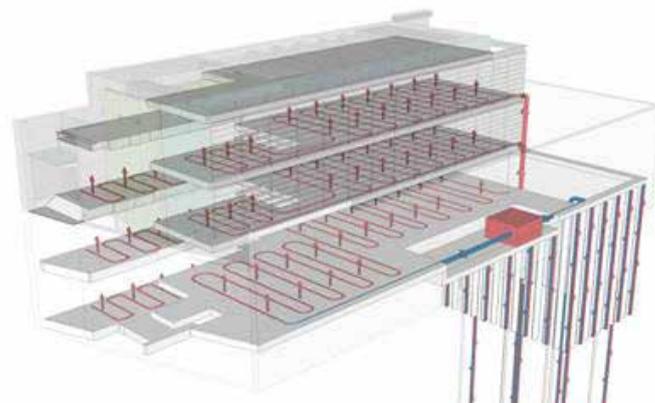


Figura 3.52 Modelización de un edificio con sistema geotérmico de pilotes termoactivos y climatización mediante forjados activos. Fuente: Eneres.

El rendimiento es más limitado que los sondeos verticales, pero, en general, son mejores que la captación somera. Los ratios de extracción geotérmica son próximas a los 20 W por metro lineal de pilote, y en el caso de muros o losas son próximos a 15 W/m².

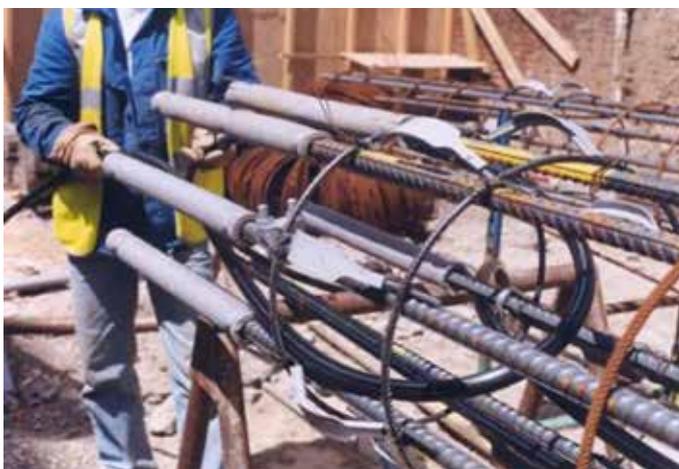


Figura 3.53 Ejecución de pilotes geotérmicos. Fuente: Eneres.

3.4.3.4 Infraestructuras subterráneas

El aprovechamiento geotérmico a través de infraestructuras subterráneas requiere un estudio preliminar de identificación y confirmación de la existencia y disponibilidad del recurso: principalmente las propiedades del terreno, la geometría de la infraestructura y la existencia de acuíferos próximos. En caso satisfactorio, el siguiente paso consiste en llevar a cabo la evaluación preliminar de posibles soluciones técnicas para la implementación del aprovechamiento térmico mediante intercambiadores embebidos en la infraestructura, o bien mediante redes de drenaje o conductos de aire.

Los conceptos energéticos y las técnicas de aprovechamiento son similares a los modelos anteriores, ahora bien, al tratarse de instalaciones de mayor singularidad, conviene llevar a cabo un estudio de la viabilidad técnica y económica más minucioso, para lo que es muy aconsejable recurrir a técnicos y empresas del sector con probada experiencia, capaces de modelizar diferentes escenarios de uso a lo largo de un periodo de tiempo de simulación mínimo de 25 años.

3.4.3.5 Otros sistemas de captación geotérmica de muy baja temperatura

Existen además otras formas de captación de la energía a baja temperatura en el subsuelo, como el aprovechamiento mediante pozos canadienses (o pozos provenzales), que consiste en hacer circular el aire exterior por conductos enterrados en el subsuelo a profundidades someras. Dicho aire es forzado a circular, y en el transcurso recupera (o cede) energía que es aprovechada en una sala técnica mediante intercambiadores aire-aire o aire-agua.

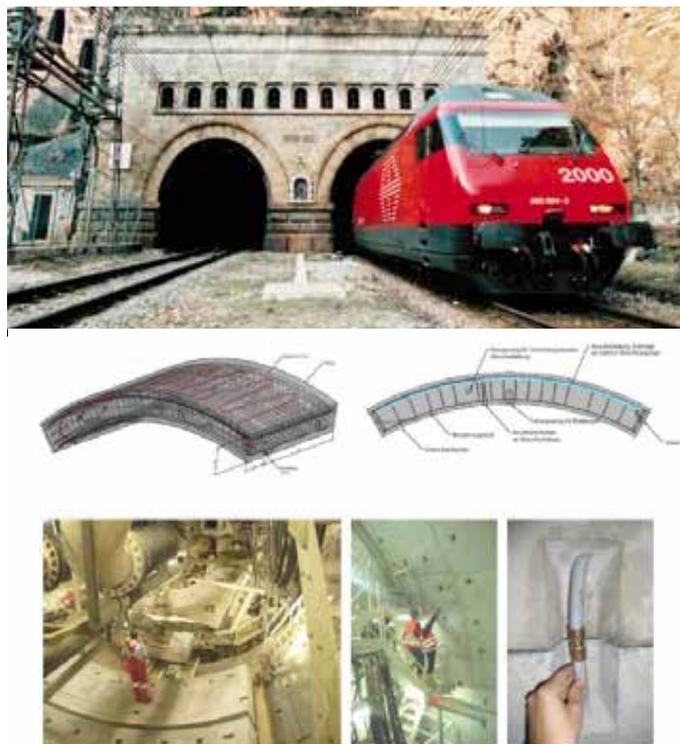


Figura 3.54 Sistemas de captación geotérmica integrados en estructuras subterráneas. Fuente: Eneres.

Un caso particular de aprovechamiento del potencial geotérmico es la recuperación de energía del subsuelo a través de las aguas urbanas en alcantarillados; el agua, desde su recogida, fluye por redes subterráneas, y en su camino se va viendo atemperada gracias al calor que toma o cede al terreno, de

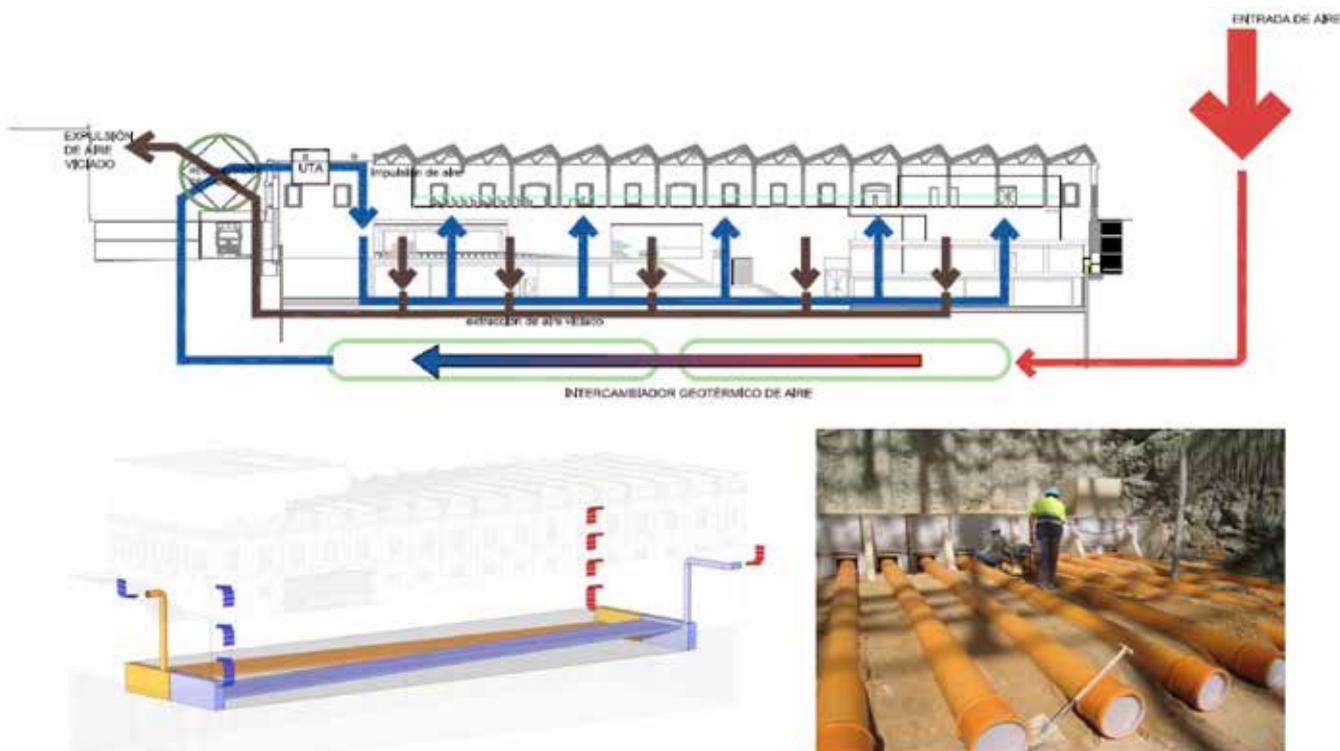


Figura 3.55 Captación geotérmica mediante pozos canadienses. Fuente: Eneres.

modo que, tanto en verano como en invierno, dispone de un enorme potencial energético para combatir las cargas térmicas en la climatización de edificios.

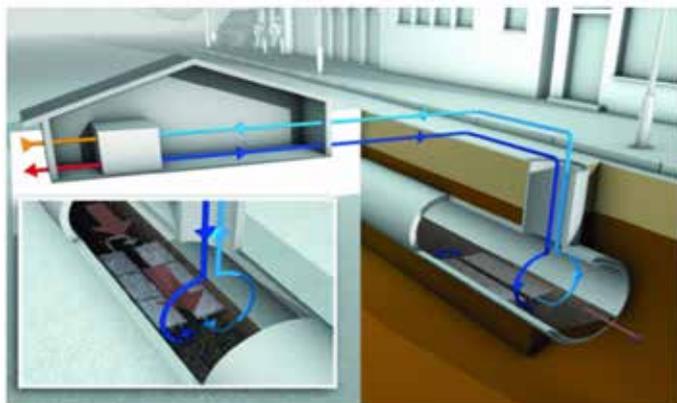


Figura 3.56 Captación mediante intercambiadores en aguas residuales. Fuente: Eneres.

3.4.4 Dimensionamiento de un sistema de captación geotérmica de baja temperatura

Las ratios de extracción de energía indicados en los apartados anteriores son valores orientativos para una aproximación inicial. En la práctica, habrá de llevar a cabo simulaciones del terreno y del edificio a lo largo de los meses de cada temporada y en un ciclo de vida a largo plazo (25 años). En caso de no realizar estudios o modelos previos, estos ratios pueden verse penalizados por descompensaciones térmicas que perjudiquen notablemente el rendimiento de la instalación a medio y largo plazo.

Por ello, para el aprovechamiento geotérmico de baja temperatura y su correcta integración en la ejecución del edifi-

cio, desde la idea inicial hasta el fin de la vida del mismo, es necesario establecer un procedimiento básico de dimensionamiento. Este procedimiento empieza recabando una serie de parámetros básicos del edificio, la geología y el clima; posteriormente, se integrarán en un modelo de evaluación y explotación del recurso; y, finalmente, los resultados se plasmarán en un informe de viabilidad técnica y económica del proyecto.

Existen numerosos métodos reconocidos para el dimensionamiento de instalaciones geotérmicas de baja temperatura. En España, la norma UNE 100715-1 es la que se emplea con mayor frecuencia para el diseño, ejecución y seguimiento de instalaciones geotérmicas someras mediante sondeos verticales en circuito cerrado.

De forma orientativa, el presente apartado propone unas pautas para dimensionar instalaciones geotérmicas de baja temperatura adaptable a diferentes sistemas de captación.

3.4.4.1 Información de partida

En primer lugar, es necesario especificar toda la información acerca del sistema de captación previsto, el comportamiento energético del edificio proyectado y las propiedades del terreno y del clima local:

- Datos del edificio: carga pico [kW], curva de demanda [kWh/mes] y, en su caso, consumo de agua caliente sanitaria [MWh/año].
- Recopilación y análisis de datos relativos al sistema de captación pretendido: pozos verticales, geotermia superficial, pilotes termoactivos, losa, solera, galería, etc.
- Recopilación y análisis de datos relativos al terreno y al clima: climatología, columna litológica, conductividad térmica del terreno, capacidad térmica volumétrica, temperatura del terreno, hidrogeología, etc.

3.4.4.2 Modelo de captación

En general, cualquier terreno es apto para su explotación geotérmica de baja entalpía, pero el rendimiento del mismo



Figura 3.57 En las mediciones en el terreno mediante Test de Respuesta Térmica, es importante además tomar muestra de detritus del pozo para aproximar la columna estratigráfica. Fuente: Eneres.

vendrá marcado por el equilibrio optimizado entre la demanda energética del edificio, sus cargas pico y la capacidad del terreno para satisfacerlas. Para instalaciones de poca potencia, normalmente inferior a 30 kW térmicos, se puede definir el campo de captación mediante estimaciones y cálculos sencillos basados en datos de la geología y del diseño del clima del edificio obtenidos en publicaciones y en documentos reconocidos.

Para las instalaciones de mayor potencia, conviene recurrir a datos más precisos de la geología recabados de pruebas en el terreno, test de respuesta geotérmica y modelizaciones numéricas del terreno y del edificio.

En este sentido, existen diferentes herramientas informáticas comúnmente aceptadas para la modelización geotérmica de baja temperatura, tales como EED (*Earth Energy Design*) o GLD (*Ground Loop Design*), entre otros. Estos programas abarcan desde el desarrollo de cálculos sencillos en proyectos de poca potencia de captación pero necesarios para evitar hipótesis de partida inexactas, hasta modelizaciones complejas de sistemas geotérmicos de gran envergadura para obtener valores detallados de rendimiento energético y económico a largo plazo.

Los principales resultados obtenidos tras los cálculos son: la temperatura del fluido a lo largo de la vida útil de la instalación en [°C]; la demanda base y las cargas pico de calor y refrigeración obtenidas del terreno en [W/m]; la resistencia térmica efectiva del sondeo [(m·K)/W]; y diferentes alternativas optimizadas del número de pozos, la longitud y disposición del intercambiador, así como las resistencias térmicas entre el fluido caloportador y el terreno.

3.4.4.3 Estudio de viabilidad

Finalmente, con toda la información obtenida en las diferentes fases, se elaborará un informe a modo de estudio de viabilidad en el que se analice y comparen los resultados de los diferentes escenarios de aprovechamiento geotérmico para el proyecto edificatorio.

Dicho informe contendrá la siguiente información:

- Definición del campo de captación y planos de detalle de la ubicación de cada elemento de captación y de la geometría. También se incluirán valores de capacidad energética de cada elemento expresados en términos de potencia térmica [kW].
- Modelización del comportamiento del terreno y su evolución en el tiempo durante un plazo recomendable no inferior a 25 años.
- Esquema de principio y memoria básica de cálculo de la instalación de captación y de producción propuesta, así como su integración en el punto de consumo.
- Estudio comparado de los diferentes sistemas de distribución de la energía térmica valorando tanto criterios de confort como de eficiencia y adecuación de su régimen de funcionamiento a los sistemas de producción.
- Estudio de impacto sobre el consumo de la utilización de sistemas de control y gestión integrada de las instalaciones de producción y en las instalaciones de consumo.
- En caso de integración del sistema de producción en un sistema de consumo perteneciente a un edificio, valora-

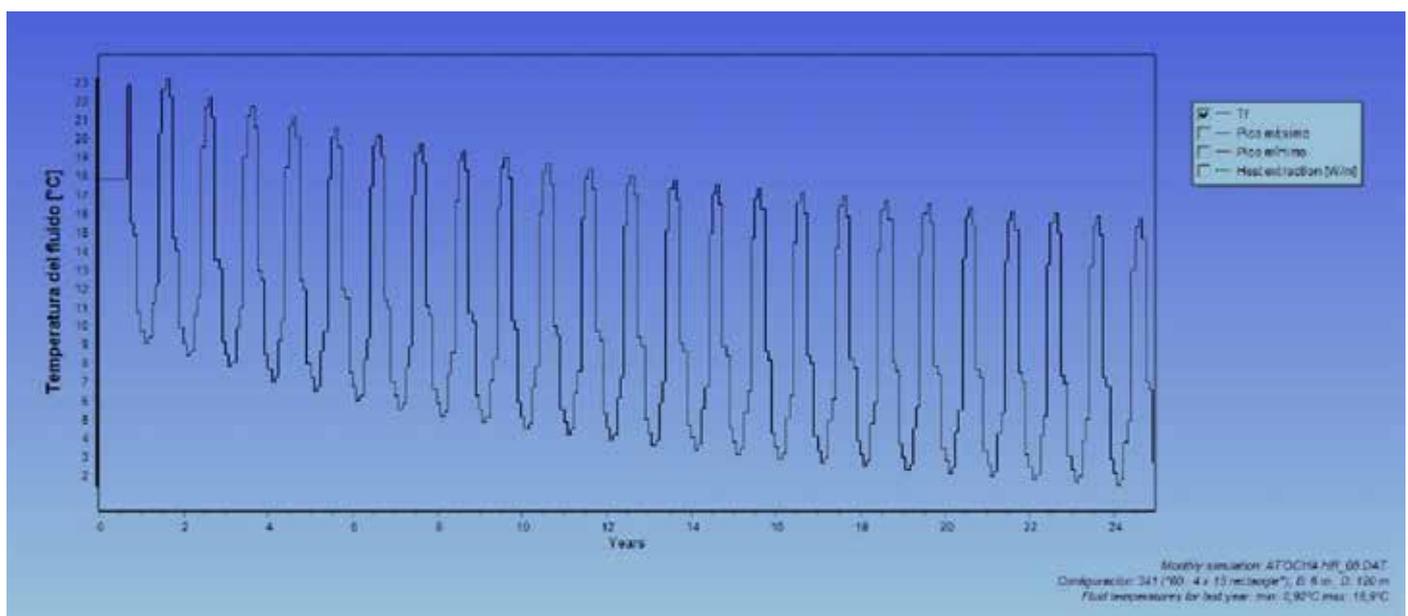


Figura 3.60. Simulación a 25 años de la temperatura del fluido a lo largo de la vida útil de la instalación. Fuente: Earth Energy Design.

ción justificada de los elementos de medida y verificación de flujos de energía, así como listado de mejoras generadas en materia de eficiencia energética. En todo caso, se garantizará el cumplimiento de las exigencias del CTE y RITE y, en general, cualquier norma de obligado cumplimiento que sea aplicable.

- Normativa y afecciones: para la solución o soluciones de captación planteadas, se elaborará un listado con las normas de obligado cumplimiento que puedan ser de aplicación, así como las potenciales afecciones subterráneas y superficiales. En caso de soluciones que incluyan pozos geotérmicos verticales, de cara a la obtención de permisos administrativos y la ejecución de obra, se hará especial mención a los requisitos en materia de medio ambiente, seguridad minera y ordenanzas municipales, así como a la necesaria participación de los técnicos titulados de minas competentes en la materia.

3.4.5 Conclusiones

En sistemas de climatización mediante bomba de calor, el rendimiento energético se obtiene como resultado de dividir, para un determinado intervalo de tiempo, la energía térmica producida entre la energía eléctrica consumida por el compresor. El éxito de una instalación geotérmica de baja temperatura radica principalmente en el elevado rendimiento estacional obtenido, que, como se ha dicho anteriormente, es considerada una fuente renovable. Algunas de las ventajas de la geotermia frente a otras tecnologías son:

- Fuente de energía autóctona disponible en todo tipo de terrenos.
- Versatilidad en los sistemas de captación (pozos, horizontal, cimentaciones termoactivas, etc.).
- Elevado rendimiento estacional independientemente de las condiciones climatológicas exteriores.
- Ahorros energéticos muy elevados frente a los sistemas tradicionales.
- Ausencia de medidas específicas de seguridad en la sala de producción.
- Mejores condiciones de salubridad debido al uso de agua en circuitos cerrados.
- Ocupa muy poco espacio en la sala técnica y favorece un mayor espacio útil del edificio.
- Nivel sonoro interior e impacto exterior nulos.
- Es integrable con cualquier otro tipo de tecnología de climatización.

- Los costes de explotación y mantenimiento son muy reducidos.

En cuanto a los inconvenientes, cabe destacar:

- Modelización del recurso más compleja frente al diseño de sistemas tradicionales.
- La perforación supone el mayor peso del presupuesto e incrementa la inversión inicial notablemente frente a sistemas tradicionales.
- Necesidad de coordinación específica de las labores de perforación.
- Periodos de amortización más largos frente a los sistemas tradicionales.

Por último, cabe destacar que, sea cual sea el modelo de aprovechamiento de esta fuente de energía, la destreza de diseñar, ejecutar y explotar un campo geotérmico de forma sostenible y con un rendimiento eficiente a lo largo de los años, requiere invertir recursos específicos y la dedicación de técnicos especializados desde la idea más preliminar del proyecto.

3.5 ENERGÍAS RENOVABLES. BIOMASA

3.5.1 Biomasa. Definición y ciclo del CO₂

La biomasa se puede definir de forma general como “aquella materia orgánica susceptible de ser utilizada como fuente de energía”.

Esta materia orgánica natural o artificial, puede tener origen animal o vegetal, lo que engloba a una gran cantidad de materiales de diferente procedencia y características.

La materia orgánica tiene relación de manera directa o indirecta con la fotosíntesis, por lo que la energía almacenada en la biomasa no es otra que la energía solar que se ha sintetizado en el citado proceso.

Mediante la fotosíntesis, los organismos autótrofos son capaces de captar la energía solar y sintetizarla, empleándola para convertir compuestos inorgánicos en orgánicos y almacenarla en los enlaces químicos de las moléculas orgánicas, como ocurre con las plantas.

En el proceso de fotosíntesis el CO₂ es captado por las plantas, mientras que durante el aprovechamiento energético de la biomasa, como ocurre durante la combustión, este mismo compuesto es liberado al medio ambiente. De este modo, el CO₂ vuelve a estar disponible nuevamente, pudiendo ser captado por las plantas e incorporado para formar nuevo tejido vegetal. De esta forma, se cierra el ciclo del CO₂ entre la incorporación para formar nuevos tejidos y la liberación durante la combustión. Este es el motivo por el que la biomasa es considerada como una energía limpia y una fuente renovable.

La consideración de la biomasa como fuente de energía renovable se debe a que la energía que se obtiene de ella proviene de la luz del sol, que es una fuente de energía inagotable.

En la normativa, el término biomasa se define como “la fracción biodegradable de los productos, deshechos y residuos procedentes de la agricultura (incluidas las sustancias de origen vegetal y de origen animal), de la silvicultura de las industrias conexas, incluidas la pesca y la acuicultura, así como la fracción biodegradable de los residuos industriales y municipales”, como se recoge en la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de Europa, relativa al fomento del uso de fuentes renovables y por la que se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE.

3.5.2 Clasificación de la biomasa

Bajo el término biomasa, existen muchas posibles fuentes de energía, que se pueden clasificar de la siguiente forma:

- I. Biomasa natural: es la producida en ecosistemas silvestres de forma natural. Para su aprovechamiento es necesaria una buena planificación que permita su sostenibilidad en el tiempo.
- II. Cultivos energéticos: son aquellos cultivos destinados a la obtención de material cuyo único fin es destinarlo al aprovechamiento energético. Se trata de cultivos generalmente de crecimiento rápido, poco exigentes y con una alta productividad. Para tal fin emplean plantas de diferente tipo, desde tipo herbáceo como el cardo, pasando por las leñosas como el eucalipto, semillas oleaginosas como el girasol e incluyendo algunas acuáticas como es el caso de los jacintos de agua.
- III. Biomasa residual: dentro de este grupo se encuentran todas aquellas materias primas que se generan como subproductos o residuos resultante de diferentes procesos de producción, transformación o consumo. Se puede subdividir a la vez en:
 - a. Biomosas procedentes de residuos sólidos urbanos (R.S.U.): dentro de este grupo se encuentra la fracción biodegradable de los residuos sólidos urbanos.
 - b. Biomasa forestal: se trata de los materiales producidos en las labores de silvicultura de las masas vegetales forestales, generalmente procedentes de plantas leñosas. Dentro de este grupo se encuentran las ramas, corteza, etc. Durante siglos ha constituido la principal fuente de energía para la humanidad.
 - c. Biomasa agrícola: son los materiales procedentes las actividades de cultivo de terrenos agrícolas y de la primera transformación de productos agrícolas. En este grupo se encuentran los restos de podas de cultivos leñosos.
 - d. Biomosas ganaderas: está compuesta por la fracción biodegradable procedente de las explotaciones ganaderas. Generalmente está formada por las deyecciones de los animales y las camas del ganado. Tradicionalmente se han empleado como fertilizante de suelos agrícolas.
 - e. Biomosas industriales: son aquellas que proceden de la materia orgánica generada como subproducto de las industrias agroalimentarias, así como de las industrias forestales. Las industrias agroalimentarias de las que procede la biomasa, son entre otras, la industria alcohólica, aceitera, conservera, etc., que generan biomosas de gran interés, como pueden ser los huesos de aceituna, las cáscaras de frutos secos, etc. En el caso de la industria forestal, los materiales provienen de carpinterías, serrerías, etc. En este grupo pueden incluirse los pellet de madera. Se trata de uno de los grupos más importante de biomasa de nuestro país.

3.5.3 Tipos de biomasa empleados como combustibles para la obtención de energía térmica

El aprovechamiento de la biomasa para la obtención de energía térmica en el ámbito doméstico es uno de los principales usos que está aumentando, gracias a las ventajas que presenta frente a otros combustibles tradicionales como el carbón o el gasóleo. Se emplea mediante combustión directa en calderas individuales o comunitarias.

Ante la creciente demanda del mercado para disponer de un combustible de calidad, se han creado diferentes normas de estandarización con el objetivo de determinar y estandarizar los parámetros característicos de las principales biomásas empleadas como combustibles. Se ha promovido la creación de diferentes normas de estandarización, que interesen tanto a clientes como a fabricantes, entre las que cabe destacar la UNE-EN-ISO 17225 Biocombustibles sólidos, especificaciones y clases de combustibles, las normas UNE 164003 aplicable a hueso de aceituna y la UNE 164004 aplicable a cáscaras de frutos. Como resultado se ha conseguido estandarizar y armonizar los biocombustibles a unos mínimos comunes de calidad.

Los dos sellos de certificación que recogen la estandarización son ENplus, que corresponde a pellet y BIOMASUD, que incluye a pellet, astilla de madera, hueso de aceituna, piñas trituradas y cáscaras de almendra, de piñón y de avellana.

Las características básicas de las biomásas empleadas en las instalaciones térmicas son:

- A.** Pellets: se obtienen principalmente por la compactación de serrines, virutas o astillas secas. Las materias primas empleadas en la obtención de los pellets provienen principalmente de la industria maderera no tratada químicamente.
- B.** Hueso de aceituna: material resultante del proceso de elaboración del aceite de oliva en almazaras y extracto-

ras. Su uso como combustible únicamente requiere de los sencillos procesos de secado y limpieza mediante cribado. Es uno de las biomásas con mayor proyección en España debido a la alta disponibilidad. Su uso tanto doméstico como industrial está viéndose incrementado en los últimos años frente a otras biomásas. Actualmente existen prestigiosas marcas de fabricantes de calderas del centro de Europa que ya diseñan y fabrican calderas para este tipo de biomasa. Presenta un buen poder calorífico en relación al precio frente a otras biomásas como el pellet.

- C.** Astilla de madera: se obtiene como resultado del proceso de transformación de la madera no tratada químicamente proveniente de serrerías, carpinterías, restos de podas, etc. La longitud según los estándares de calidad no debe de ser superiores a 200 mm.
- D.** Cáscara de almendra: la cáscara supone cerca del 75% del peso total de la almendra. Este combustible se obtiene de la valorización de la cáscara obtenida como resultado del procesado de la almendra, principalmente proveniente de la industria agroalimentaria. Las cáscaras son trituradas y cribadas para obtener el combustible.
- E.** Cáscara de piñón y avellana: ambos tipos de cáscaras provienen principalmente de la industria agroalimentaria y son acondicionadas para su uso en calderas mediante trituración y cribado.
- F.** Piñas trituradas: se obtienen una vez se extraen los piñones de las piñas. Puesto que tras la extracción de los piñones suelen quedar enteras, se deben de triturar y cribar previamente a su uso en calderas de combustión.

En la siguiente tabla 3.15. se recogen las principales características que deben de cumplir las biomásas según los sellos de certificación que sean de aplicación.

Tabla 3.17 Propiedades de los diferentes combustibles.

TIPO BIOMASA	CARACTERÍSTICAS ESTANDAR					
	PCI MEDIO (fuente IDAE) (kWh/kg)	PCI ESTÁNDAR CALIDAD (kWh/kg)	HUMEDAD (%)	CENIZAS (%)	DENSIDAD (kg/m)	SELLO CERTIFICACIÓN
PELLET	5,01	≥4,6	≤10	≤2,0	600-700	ENPLUS / BIOMASUD
HUESO ACEITUNA	4,48	≥4,2	≤16	≤1,5	≥600	BIOMASUD
ASTILLA MADERA	4,19 (astilla de pino)	A declarar según tipo	≤35	≤3,0	≥150	BIOMASUD
CÁSCARA DE ALMENDRA Y AVELLANA	4,42	≥3,9	≤16	≤2,0	≥270	BIOMASUD
CÁSCARA DE PIÑÓN	—	≥4,2	≤16	≤2,0	≥450	BIOMASUD
PIÑAS TRITURADAS	—	≥4,1	≤16	≤1,5	≥300	BIOMASUD

3.5.4 Ventajas del uso de la biomasa frente a otros combustibles

Entre las ventajas en el uso de la biomasa frente a los combustibles tradicionales hay que destacar las de tipo medioambiental. Las principales ventajas en el uso de biomasa como combustibles son:

- A.** Es la principal fuente de energía renovable en España.
- B.** No aumentan los niveles de CO₂ en la atmósfera como consecuencia de su combustión, ya que el CO₂ emitido es captado por las plantas, cerrando el ciclo del carbono.
- C.** Se trata de una fuente de energía renovable y por lo tanto inagotable. La fuente primera de energía es el sol.
- D.** Se reducen los residuos de origen vegetal y se valorizan.
- E.** Reduce considerablemente la cantidad de residuos que llegan a vertederos, aprovechando la energía contenida en ellos. Disminuye el volumen final destinado a vertederos.
- F.** Reforestación de tierras con cultivos energéticos, evitando la degradación y erosión del suelo.
- G.** Revitalizan las economías generando nuevos puestos de trabajo y promueven el desarrollo socio-económico en el ámbito rural.
- H.** Evita la dependencia económica de terceros países, frente a lo que ocurre con otros combustibles tradicionales en España.
- I.** Precios más bajos frente a otros combustibles, como consecuencia de los costes más bajos de producción.

3.5.5 Tipos de instalaciones

Las instalaciones centralizadas son aquellas que dan suministro mediante una red de tuberías proveniente de una central de generación térmica a varios usuarios para dar servicio de calefacción, refrigeración y ACS, o bien una combinación de algunos de los anteriores servicios. Estos sistemas centralizados se contraponen a los sistemas individuales, donde cada usuario dispone de su propio generador de energía térmica.

El uso de la biomasa es susceptible de ser utilizado en ambos casos, aunque es cierto que tiene mayor aceptación su uso para sistemas centralizados. Esto se debe a que el suministro de combustible suele llevarse a cabo por empresas contratadas para tal fin, lo que supone menores inconvenientes para el usuario final, desligándose éste de la responsabilidad de procurar a la instalación un suministro ininterrumpido de combustible.

El uso de sistemas individuales de biomasa se emplea mayoritariamente en zonas rurales donde el grado de gasificación es bajo

o inexistente, o incluso utilizado en segundas viviendas o viviendas unifamiliares, ya que la necesidad de espacio suficiente es un factor limitante para el uso de este tipo de instalaciones.

Haremos un somero repaso de los sistemas individuales de biomasa, como calderas individuales y estufas de biomasa, aunque no es la finalidad de esta guía describir este tipo de sistemas.

Los sistemas de biomasa centralizados se pueden dividir en dos, sistemas de calefacción de distrito e instalaciones centralizadas comunitarias. Las principales características de cada uno de ellos son:

3.5.5.1 Sistemas de calefacción de distrito o district heating

Se denominan así aquellos sistemas centralizados de calefacción, refrigeración y ACS que constan de una central térmica (generalmente independiente de los diferentes puntos de consumo) y que da suministro energético a dichos puntos de consumo. Los puntos de consumo son generalmente edificios independientes que se componen a su vez de una serie de usuarios finales, o bien otras instalaciones que utilizan dicha energía en sus ciclos de generación o edificios industriales que utilizan dicha energía en sus procesos productivos.

Estos sistemas en algunos países llevan utilizándose desde hace varias décadas. En nuestro país es un sistema que está empezando a tener una creciente aceptación, principalmente enfocado a utilizar parte de la instalación de las centrales térmicas existentes a nivel comunitario (sobre todo en lo referido a distribución energética a los usuarios finales) que utilizaban otro tipo de combustible como carbón, gasóleo o gas. El aprovechamiento consiste en enlazar dichas instalaciones a la red de distrito, eliminando la central térmica existente sin que haya que intervenir en la instalación individual de cada usuario.

Los principales elementos de estas instalaciones son las centrales de generación donde, como su nombre indica, se genera la energía para la calefacción o refrigeración. Otro de los elementos fundamentales resulta ser el sistema de transporte de dicha energía a través de un fluido caloportador hasta el usuario final.

El dimensionado del sistema de transporte cobra vital importancia en este tipo de instalaciones, ya que generalmente la central térmica suele estar más alejada de los puntos de consumo final, lo que implica mayores pérdidas térmicas que en sistemas centralizados, donde la generación y el consumo se encuentran en el mismo recinto.

Este sistema presenta como principales ventajas:

- A.** Son sistemas más eficientes, energéticamente hablando, ya que generalmente presentan una tecnología más avanzada y necesitan un personal más cualificado para su control.

- B.** Son sistemas que presentan un sistema de control y vigilancia continuo, con personal específicamente dedicado y formado para control energético de la planta, lo que evita el riesgo de manejo de la instalación por parte de individuos no cualificados.
- C.** En el caso de la biomasa, el balance de CO₂ es nulo.
- D.** Generalmente se suelen utilizar en este tipo de plantas excedentes y productos derivados de otros procesos, provenientes o bien de zonas limítrofes o zonas alejadas.

En este tipo de instalaciones, se ha de tener especial cuidado en el dimensionamiento de los equipos, considerando que el uso de la energía entre los usuarios finales puede no ser similar en magnitud y no ser simultáneo en el tiempo. A diferencia de los usos centralizados en un edificio de viviendas, los sistemas de distrito reparten la energía a puntos de consumo (edificios) de naturaleza y uso muy heterogéneo, por lo que habrán de ser calculados para el caso más desfavorable (mayor simultaneidad de puntos con magnitud de uso mayor). Además, se ha de garantizar un funcionamiento a mínima demanda, lo que implica cierta parcialización, pero teniendo en cuenta la tendencia de montar las menores unidades posibles de cara a minimizar los costes de operación y control.

La mayor desventaja de este sistema es el coste inicial. Este sistema implica la realización de trabajos de gran envergadura, lo que generalmente supone la colaboración de estamentos públicos. Además, se necesita amortizar rápidamente la inversión inicial, teniendo que optimizar el sistema de forma casi inmediata a su puesta en marcha.

El combustible utilizado generalmente suelen ser excedentes de la poda de especies leñosas que en ocasiones se obtienen de montes de utilidad pública.

3.5.5.2 Instalaciones centralizadas comunitarias

Es el tipo de instalaciones más usuales en nuestro país. Este tipo de instalaciones se caracteriza por contar con la central térmica en la misma ubicación que los puntos de consumo, lo que supone que las pérdidas térmicas en los subsistemas de distribución de energía sean menos acusadas que en los sistemas de distrito.

Generalmente son instalaciones gestionadas por empresas de mantenimiento autorizadas, ya que cuentan con un alto grado de sofisticación.

En el caso de la biomasa, se requieren actuaciones muy específicas para llevar un mantenimiento correcto de las mismas, ya que el nivel de automatismos y por lo tanto de control es mayor que en las instalaciones de carbón, gasóleo y gas. De hecho, no todas las empresas dedicadas al mantenimiento de instalaciones térmicas están capacitadas para realizar un mantenimiento correcto de este tipo de instalaciones.

Este tipo cuenta con ventajas respecto a las instalaciones de distrito:

- A.** Menor coste inicial, ya que el dimensionado de las instalaciones suele ser más sencillo y las dimensiones de los equipos menores.
- B.** Menor grado de control y vigilancia, lo que repercute en menores costes de mantenimiento, ya que generalmente no son instalaciones que requieran de personal presente de continuo en la instalación.
- C.** Una mayor simultaneidad en el uso de la energía ya que todos los usuarios finales generalmente presentan el mismo perfil de consumo energético.

3.5.5.3 Instalaciones individuales o particulares (calderas de pequeña potencia o estufas)

Como se mencionó anteriormente, son instalaciones orientadas a emplearse en viviendas unifamiliares (chalets, segundas viviendas), tanto en zonas urbanas como en zonas rurales. Generalmente suelen ser instalaciones que utilizan como combustibles excedentes forestales (astilla, briqueta), también madera procesada (pellet) y en menor medida productos derivados de actividades agroindustriales (hueso de aceituna y melocotón, cáscara de almendra, etc.).

Se trata de generadores con almacenamiento de combustible incorporado, con capacidades comprendidas entre 30-150 kg y que han sufrido un alto desarrollo, presentándose actualmente en el mercado equipos con unos rendimientos muy altos (hasta un 92%).

En resumen, la biomasa en cualquier tipo de instalación de las anteriormente descritas, presenta las siguientes ventajas:

- A.** Son instalaciones que utilizan una fuente de energía renovable, respetuosa con el medio ambiente, al presentar un balance neutro de CO₂.
- B.** Precio del combustible comparativamente más competitivo que los combustibles de uso convencional. Por el contrario, la inversión inicial de este tipo de instalaciones suele ser algo superior al de las instalaciones de combustibles convencionales.
- C.** Sistemas totalmente automatizados, lo que las hace más sencillas de cara al mantenimiento y operación.
- D.** Las calderas presentan equipos de limpieza automática que facilitan las labores de mantenimiento.
- E.** Son equipos robustos y resistentes al desgaste.
- F.** La irrupción en el mercado de calderas de biomasa con tecnología de condensación ha incrementado el rendimiento de los equipos hasta situarlos por encima del 100%.

3.5.6 Componentes o subsistemas de instalaciones comunitarias de biomasa

3.5.6.1 Transporte de combustible a las instalaciones

Una vez tratado y conforme a las características organolépticas que lo hacen apto para el suministro como combustible, los combustibles de pequeña granulometría se distribuyen en los siguientes formatos que se describen a continuación.

El medio de transporte más utilizado es el transporte por carretera, para lo que se emplean vehículos de gran variedad, entre los que destacan:

- A. Remolques de caja plana.
- B. Remolques de piso móvil.
- C. Contenedores (poco utilizados).
- D. Volquete.
- E. Camión cisterna.

Sea cual sea el vehículo utilizado, hay que tener especial cuidado en mantener el combustible en las condiciones de humedad óptimas y libre de impurezas que puedan provocar problemas en los elementos mecánicos de los generadores, así como combustiones anómalas. También se ha de prestar especial cuidado en no mezclar combustibles de diferente naturaleza.

El método más utilizado es el de camiones cisterna, en el que el transporte del combustible del camión al silo se hace por medio de mangueras de 6 metros de longitud. La longitud y altura máxima de descarga recomendada para evitar problemas de suministro son 30 m y 5 m, respectivamente. Son de tipo Stolz, de un diámetro de 110 mm, y al ser materiales semirrígidos, la curvatura de los mismos es muy pequeña, por lo que no pueden quedar las bocas de descarga pegadas al camión cisterna.

El tiempo de descarga depende de la capacidad de almacenamiento de la instalación, pero suele ser de 500 kg/min, mientras que la capacidad de los camiones suele oscilar entre los 20-25 m³ con un peso de 16 toneladas y una altura de hasta 4 m.

También se pueden cargar los silos manualmente mediante bolsas y por descarga directa a través de trampillas habilitadas para tal fin.

Los formatos de distribución de biomasa suelen ser dos:

- A. A granel: este formato de distribución se realiza por medio de camiones que vierten el combustible en el emplazamiento destinado para su almacenamiento, mediante camiones cisterna que utilizan un sistema con bomba neumática de impulsión, o bien mediante un volquete que puede llevar también una bomba incorporada. Generalmente es un sistema sin necesidad de impulsión del combustible.

- B. En bolsas: este formato generalmente se lleva a cabo apilando dichas bolsas en pales que son transportados a su lugar de almacenamiento mediante transpales u otros medios similares. Las bolsas pueden ser pequeñas (utilizadas generalmente en instalaciones individuales y son de 15-25 kg) o grandes (llegando a tener una capacidad de 1 m³).

3.5.6.2 Acumulación de combustible.

La acumulación de combustible está regulada por el Reglamento de Instalaciones Térmicas 2007 (RITE) y por el Código Técnico de Edificación (CTE) y su documento básico contra incendios (DB-SI).

El recinto destinado a la acumulación de combustible debe ser utilizado exclusivamente para tal fin. Son recintos con riesgo de incendio y explosión, por lo que se deben mantener unas precauciones mínimas.

Debe estar en un local independiente a la sala de calderas, salvo en los edificios ya construidos donde deberá disponerse una pared entre la caldera y el almacenamiento de combustible.

La estabilidad de dicho cerramiento en caso de incendio será de 90 minutos en caso de que la superficie de almacenamiento sea de hasta 3 m², o de 120 minutos en caso de que el almacenamiento de combustible sea mayor de 3 m².

El recinto de almacenamiento ha de estar exento de cualquier equipo eléctrico, exceptuando los detectores de incendios. Las salas generalmente estarán dotadas de sistemas portátiles de extinción de incendios siendo de eficacia 21A-113B.

Cuando los silos dispongan de sistemas neumáticos de llenado, éste deberá disponer de dos aberturas:

- A. Para la conexión del llenado.
- B. Para la salida de aire, a fin de evitar sobrepresiones y aspirar el polvo impulsado durante el llenado.

Se ha de disponer de una cortina para amortiguar impactos durante la descarga y evitar, por un lado, que el combustible se rompa y, por otro lado, evitar la abrasión en las superficies del silo.

Se dispondrá también de una toma de tierra para la conexión del camión cisterna y los sinfines, con el fin de evitar riesgos por aparición de electricidad estática.

Para evitar la transmisión de un incendio desde el generador hacia los silos de almacenamiento, los generadores deben disponer de sistemas que eviten el retroceso de llama hacia el silo. Estos sistemas se describirán más adelante.

Durante el llenado del silo, los generadores han de mantenerse apagados, especialmente si el sistema es neumático.

Los camiones dotados de sistemas neumáticos han de poseer una toma para recoger la sobrepresión del silo de almacenamiento durante el llenado y aspirar el polvo producido. De no disponer de dicha toma, dispondrán de un aspirador externo dotado de filtro.

Los elementos estructurales dentro del silo de almacenamiento tendrán una estabilidad en caso de incendio de 120 minutos.

Existen tres tipos principales de almacenamiento:

- I. Silos de obra. Han de estar exentos de humedad, ya que la biomasa aumenta su volumen en presencia de ésta. Además, se debe garantizar la estanqueidad al polvo. Las puertas del silo deben situarse en el lado opuesto a la descarga (si esta es directa) o bajo ella si el sistema es neumático. Se han de prever sistemas de contención para que el combustible no se derrame al abrir la puerta.

Los hay de diferentes tipos:

- a. Suelo inclinado en ambos lados (sinfín en suelo).
 - b. Suelo inclinado en un lado (sinfín en suelo). Si el ángulo es pequeño puede ser necesario un sistema rascador.
 - c. Suelo horizontal (agitador y sinfín en suelo o bien rascador hidráulico).
- II. Silos prefabricados. Su principal ventaja es que son silos de fácil sustitución y que al no estar unidos al edificio no son afectados por humedades. Pueden ser de varios tipos:
 - a. Tolva exterior.
 - b. Silos de tela. Fabricados en lona o polipropileno que conforma un recinto flexible soportado por una estructura. Se ubican tanto en el exterior como en el interior y pueden llegar a acumular hasta 12 t. El llenado suele ser mediante sistema neumático y la alimentación mediante tornillo sinfín o sistema neumático.
 - c. Depósitos subterráneos. Deben ser resistentes a la corrosión.
 - d. Tolva integrada al generador (para generadores de pequeña potencia, hasta 40 kW) y capacidades de hasta 2 m².

Para edificios de nueva construcción se considera obligatorio prever un almacenamiento para una autonomía mínima de 15 días (RITE 2007).

Como ratio estimativo, se considera que por cada kW de potencia instalada se consumirán en torno a 200-250 kg de pellets o hueso de aceituna anuales.

3.5.6.3 Sistemas de transporte internos: sinfín, aspiración neumática, otros sistemas hidráulicos.

- A. Sistema manual: empleado en sistemas de pequeña potencia tipo tolva, integrado o en instalaciones donde por falta de espacio no se puede ubicar un almacenamiento tipo silo.
- B. Tornillo sinfín: sistema mecánico para conducir el combustible a lo largo de su longitud hasta la propia caldera. Puede ser de tipo rígido, flexible o en codo. Se pueden enlazar tramos en tándem que aumentan la longitud de transporte. Cada tramo implica la instalación de un motor de accionamiento del tornillo sinfín. Este sistema presenta una fiabilidad superior al sistema neumático, ya que es menos sensible a cualquier anomalía, tanto del producto como de la instalación. Como desventaja, son sistemas muy poco flexibles que no admiten curvas muy pronunciadas y cualquier cambio brusco de dirección ha de implementarse con un nuevo tramo en tándem.
- C. Sistema neumático: una bomba succiona el combustible desde el silo y lo bombea hasta la caldera. Como se ha señalado anteriormente, su principal inconveniente es la sensibilidad de este sistema ante cambios de presión o cambios en el propio combustible. La longitud máxima que permite este sistema son 15 m. Permite cambios más acusados de dirección y es más adaptable a la morfología de la sala que el sistema de tornillo sinfín.
- D. Sistema hidráulico: generalmente se presenta en combinación con un sistema de tornillo sinfín. Consiste en unos accionadores hidráulicos que mueven una parrilla, recogiendo el combustible y vertiéndolo en un colector con un tornillo sinfín, el cual alimenta la caldera.

3.5.6.4 Generadores. Clasificación quemadores

Los tipos de generadores presentes en el mercado son de varios tipos. Todos los generadores de biomasa son generadores de potencias escalonadas, esto quiere decir que poseen una serie de potencias o etapas, en cada una de las cuales la caldera va adaptando los parámetros de la combustión. Los ajustes de cada etapa adaptan la relación entre combustible y comburente en función de la parametrización que previamente se haya establecido, produciendo así una modulación de potencia para adaptarse en cada momento a las necesidades térmicas de la instalación.

Las calderas de biomasa presentan una serie de ventiladores que aportan aire como elemento comburente. Se habla generalmente de aire primario cuando es utilizado para que se produzca la combustión parcial de la biomasa y donde se gasifica la biomasa. Se liberan una serie de gases combustibles por el proceso de pirolisis de la biomasa y el aire secundario es el que se utiliza para estabilizar dicho proceso de combustión.

Los tipos de calderas son:

- A. Calderas estándar de biomasa: diseñadas especialmente para un tipo de biomasa, con rendimientos de hasta un 92%, presentan sistemas de encendido, alimentación, limpieza del intercambiador y extracción de cenizas automáticos.
- B. Calderas mixtas: permiten el uso de dos combustibles, con un sistema de almacenamiento y alimentación para cada tipo de combustible. Son calderas automáticas con rendimientos en torno al 92%.
- C. Calderas de condensación: operan reduciendo la temperatura de los productos de la combustión hasta condensar el vapor de agua contenido en los mismos. Alcanzan un rendimiento de hasta un 103% sobre el poder calorífico inferior (PCI).

Independientemente del tipo de caldera, los quemadores de biomasa suelen ser de 2 tipos:

- A. Quemadores por afloración: el combustible va emergiendo en la cámara de combustión empujado por el sinfín del inyector. Presenta una combustión más controlada y se evita que la combustión sea irregular por el esparcimiento del combustible en la cámara de combustión.
- B. Quemador de parrilla móvil: una parrilla móvil va introduciendo combustible en el hogar y se va produciendo la combustión del mismo. Produce un esparcimiento del combustible que en determinados casos puede conducir a combustiones irregulares.

Según el RITE 2007, los rendimientos de las calderas de biomasa han de ser del 80%. Actualmente, casi todas las calderas presentes en el mercado superan ampliamente este requisito, siendo recomendable la utilización de equipos de rendimiento elevado y bajo nivel de emisiones.

3.5.6.5 Sistemas de seguridad

Las calderas de biomasa cuentan con una serie de dispositivos de seguridad, tales como:

- I. Un dispositivo de interrupción del funcionamiento del sistema de combustión en caso de que se produzca retroceso de llama o de productos de la combustión.
- II. Un sistema que evita el retroceso de llama al silo de almacenamiento.
- III. Un dispositivo de interrupción de funcionamiento en caso de alcanzarse temperaturas superiores a las de diseño.
- IV. Una válvula tarada a 1 bar por encima de la presión de trabajo de la caldera por debajo de su presión máxima de trabajo.

V. Se debe tener en cuenta que las calderas de biomasa tienen una mayor inercia térmica, tanto en su arranque como en su parada, que el resto de las calderas, por lo que, ante un eventual fallo del sistema eléctrico, este tipo de calderas seguirán quemando combustible y se producirá calor no absorbido por la instalación. Algunas calderas (principalmente modelos antiguos) no son capaces de disipar este calor residual. En estos casos, para evitar eventuales problemas de sobretemperaturas se debe implementar un sistema para eliminar ese calor residual. Se puede instalar un intercambiador de calor residual o un depósito de inercia, los cuales tienen grandes ventajas:

- a. Actúan como sistema de seguridad absorbiendo el calor que la instalación no puede disipar por falta de funcionamiento normal.
- b. Almacenan energía en periodos de baja demanda que puede ser cedida en periodos de alta demanda.
- c. Este funcionamiento reduce de forma considerable la cantidad de arranques-paradas del generador, proporcionando al equipo una vida útil más prolongada.

La norma EN303-5 facilita la siguiente fórmula para el dimensionado de los depósitos de inercia:

$$V = 15 T_c \cdot P_n \cdot (1 - 0,3 Q_t / P_{min})$$

Siendo:

V: Volumen del depósito de inercia (l)

T_c : Tiempo de autonomía (h)

P_n : Potencia nominal de la caldera (kW)

Q_t : carga térmica de la instalación (kW).

P_{min} : Potencia mínima de la caldera (kW).

Aunque como norma aceptada, se considera que el volumen de acumulación ha de estar comprendido entre 15-30 litros/kW del generador.

3.5.6.6 Chimeneas

Las chimeneas son los elementos por los que los gases procedentes de la combustión son evacuados al exterior.

Las chimeneas en las instalaciones de biomasa suelen ser de un diámetro mayor que en el resto de instalaciones, ya que la densidad de los humos procedentes de los combustibles sólidos es mayor.

No está permitido en este tipo de instalaciones el uso de chimeneas de materiales plásticos.

En algunas calderas, generalmente generadores antiguos, con el fin de minimizar la presencia de partículas sólidas en el humo, se pueden instalar ciclones en la salida de las chi-

meneas. Estos dispositivos hacen circular el humo a la salida de la caldera en un flujo helicoidal, reduciéndose el diámetro progresivamente, lo que permite decantar las partículas sólidas más voluminosas.

Para evitar excesos de tiro y aumento de temperatura de humos (muy comunes en este tipo de instalaciones), se suelen utilizar reguladores de tiro y retenedores en los pasos de humos de la caldera.

3.5.6.7 Instalación eléctrica

Hay varios aspectos a tener en cuenta en este tipo de instalaciones:

- A. El silo tiene que estar libre de cualquier elemento eléctrico.
- B. Los silos han de tener conectada una toma de tierra para evitar generar electricidad estática durante la descarga.
- C. Se han de colocar únicamente en el silo detectores de incendio.

3.5.6.8 Ventilación

Este tipo de salas, al provenir generalmente de antiguas salas de carbón, en muchas ocasiones carecen de ventilación de cualquier tipo.

La ventilación puede ser de tres tipos:

- A. Ventilación natural por orificios en contacto con el exterior (superior e inferior).
- B. Ventilación natural por conductos comunicados con el exterior (superior e inferior).
- C. Ventilación forzada (se dota a la sala de calderas de un caudal de aire para la combustión). Para evitar que la sala quede sobrepresionada respecto a los recintos colindantes, se tiene que habilitar una salida de aire natural (por orificio o conducto) para que el aire caliente ascendente sobrante salga al exterior.

3.5.7 Normativa

- A. Código Técnico de la Edificación (CTE). Ministerio de Vivienda. 2006.
- B. Corrección de errores y erratas del Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. BOE nº 22 del viernes 25 de enero de 2008.
- C. Corrección de errores del Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. BOE nº 51 del jueves 28 de febrero de 2008.

D. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. BOE nº 74 del martes 28 de marzo de 2006.

E. Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). 2007. BOE nº 207 del miércoles 29 de agosto de 2007.

F. Real Decreto 818/2018, de 6 de julio, sobre medidas para la reducción de las emisiones nacionales para determinados contaminantes.

G. Sistemas automáticos de calefacción con biomasa en edificios y viviendas. Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad Autónoma de Madrid (DGIEM). 2006.

3.5.8 Ejemplos de sistemas térmicos centralizados que utilizan biomasa como combustible

- A. Red de distribución térmica en calle S 1, 4, 6, 8 Y 10 (Madrid).

La instalación de una central térmica de biomasa que abastece de calefacción a 5 bloques de viviendas mediante un sistema de distrito (*district heating*) abasteciendo a 210 viviendas y a unos 735 usuarios.

- B. Instalación de sala de calderas para suministro de calefacción y ACS en calle E 121-123 (Madrid).

La instalación de una sala de calderas de biomasa que abastece de calefacción y ACS a 122 viviendas y a unos 427 usuarios.

- C. Instalación de sala de calderas de condensación para suministro de calefacción en calle D.L 54 (Madrid).

La instalación de una sala de calderas de biomasa con tecnología de condensación, que abastece de calefacción y ACS a 32 viviendas y a unos 112 usuarios.

■ CAPÍTULO 4

BOMBAS Y SISTEMAS DE BOMBEO



1 INTRODUCCIÓN

Las bombas y sistemas de bombeo tienen una gran influencia en las instalaciones de los edificios, dado que su funcionamiento afecta doblemente al consumo energético de una instalación, por un lado, por el propio consumo eléctrico de las bombas, pero, por otro lado, también por los posibles desperdicios energéticos relacionados con un control inadecuado de la distribución en las diferentes aplicaciones, como, por ejemplo, el calor de exceso entregado respecto al calor demandado en una instalación de calefacción, o el exceso de consumo de agua, tanto en forma de agua fría como en forma de agua caliente sanitaria, en las instalaciones de agua para el consumo humano.

El funcionamiento eficiente de los sistemas de distribución en las instalaciones no sólo requiere bombas eficientes, sino que exige además una eficiencia complementaria en el diseño, en la puesta en marcha y en la explotación de las instalaciones a las cuales estas bombas están asignadas.

2 LA EFICIENCIA DE LAS BOMBAS

En los últimos años, dentro del marco de la Directiva de Productos relacionados con la Energía (Directiva ErP), se han publicado varios Reglamentos Europeos que definen los requisitos mínimos para la eficiencia de las bombas a nivel de producto, tanto para los circuladores (bombas de rotor húmedo, con potencias absorbidas hasta unos 2,5 kW, en las cuales el rotor se lubrica con el fluido impulsado), que son los que se suelen encontrar en la mayoría de las instalaciones de calefacción, como para las bombas de rotor seco (en las cuales el rotor no está bañado por el fluido). No obstante, si se quiere evaluar la eficiencia real de una bomba dentro de una instalación térmica, se tendrá que comparar la energía absorbida por la bomba en relación con la energía térmica transportada por ella.

2.1 Eficiencia de los circuladores

Los requisitos de eficiencia para los circuladores de rotor húmedo han sido definidos por la Comisión Europea mediante el Reglamento (CE) Nº 641/2009, el cual establece un calendario de implementación, el cual ha sido enmendado posteriormente por el Reglamento (UE) Nº 622/2012. La primera fase entró en vigor con fecha del 1 de enero del 2013 y la segunda el 1 de agosto del 2015. Actualmente, todos los circuladores para calefacción y climatización que se ponen en el mercado europeo deben alcanzar un nivel de eficiencia con un índice de eficiencia energética (IEE) no superior a 0,23; desde el 1 de agosto de 2015, esta exigencia también es aplicable a los circuladores diseñados específicamente para los circuitos primarios de sistemas termosolares y bombas de calor, y a los circuladores integrados en productos.

Igual que en el caso de las bombillas, sujetas a la misma Directiva Europea, estas exigencias de mejora de la eficiencia del producto sólo han sido posibles con un cambio en la tecnología de los productos, cambiando de motores asíncronos a motores electrónicamente conmutados, de imán permanente. Mientras los antiguos circuladores asíncronos normalmente sólo permitían el funcionamiento a velocidad fija, los circuladores actuales para calefacción y climatización sólo pueden alcanzar las exigencias marcadas por el Reglamento si incluyen un control interno que permite adaptar su velocidad a las variaciones en la demanda de la instalación, reduciendo la presión diferencial proporcionada de forma lineal con la disminución del caudal, como se puede observar en la Fig. 4.1.

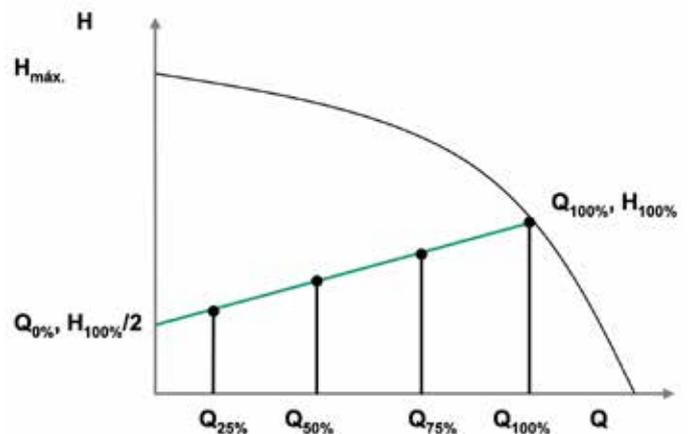


Figura 4.1. Curva de control de un circulador en modo presión diferencial variable Dpv. Fuente: Elaboración propia, basada en el Δp -v. Fuente: Elaboración propia, basada en el REGLAMENTO (CE) Nº 641/2009.

La evaluación del IEE de los circuladores se ha basado en un perfil de carga genérico, donde los circuladores sólo trabajan durante el 6% de su tiempo de funcionamiento con el caudal de diseño $Q_{100\%}$, mientras el 94% de la temporada trabajan a cargas parciales (Tabla 4.1). Este perfil intenta representar las variaciones de caudal en una instalación de calefacción en la cual se encuentran, por ejemplo, radiadores equipados con válvulas con cabezal termostático, las cuales deben condicionar el caudal que puede pasar por cada radiador en función de la temperatura de consigna ajustada y la temperatura de ambiente que detecta la válvula en cada momento.

Tabla 4.1. Perfil de carga genérico empleado para la evaluación de circuladores. Fuente: REGLAMENTO (CE) Nº 641/2009.

Caudal (%)	Tiempo (%)
100	6
75	15
50	35
25	44

2.2 Eficiencia de las bombas de rotor seco

Igual que para el Reglamento de los circuladores, la primera fase del Reglamento (CE) Nº 547/2012, que define los requisitos de eficiencia para las bombas hidráulicas, entró en vigor el 1 de enero de 2013. Desde este momento, las bombas de rotor seco de varios diseños (bombas de banca, bombas monobloc, bombas en línea, bombas verticales multicelulares y bombas de perforación de 4" y 6") que se ponían en el mercado debían tener un índice de eficiencia mínima (MEI) de 0,1. Desde el 1 de enero de 2015, el MEI que se debe indicar en la placa de características de las bombas afectadas tiene que alcanzar un valor mínimo de 0,4.

Este índice no es ni equivalente ni comparable al índice IEE de los circuladores, y utiliza además un baremo invertido, ya que, en este caso, un valor mayor representa una mejor valoración. Esto se debe a que el IEE está relacionado con el porcentaje de circuladores que se pueden seguir comercializando en el mercado después de la entrada en vigor de las diferentes fases del Reglamento, mientras el MEI hace referencia al porcentaje de modelos de bombas de rotor seco de cada diseño que se intenta excluir del mercado, basado en los modelos que estaban disponibles en el mercado en el momento de la definición de cada índice.

El MEI tampoco valora la eficiencia del conjunto de la bomba (hidráulica + motor), sino que basa su valoración exclusivamente en el rendimiento hidráulico.

2.3 Factor de transporte

Los índices IEE y MEI sólo permiten evaluar la eficiencia de una bomba para el funcionamiento de un circulador o de una bomba de rotor seco en sus condiciones de diseño, pero no permiten evaluar la eficiencia de una bomba en las condiciones de trabajo reales en una instalación.

Para esta evaluación se utilizaba en el pasado el factor de transporte, la relación entre la potencia térmica útil entregada por el fluido portador a los locales acondicionados y la potencia eléctrica consumida por los motores de las bombas. En las instrucciones técnicas complementarias del Reglamento de Instalaciones de Calefacción, Climatización y Agua Caliente Sanitaria, publicadas en el 1981, se recomendaban valores mínimos para los factores de transporte de diferentes circuitos en los sistemas de calefacción y climatización cuando la potencia térmica transportada por la red era mayor que 500 kW. Como los saltos térmicos en las instalaciones de climatización suelen ser más pequeños que los de calefacción, y por lo tanto sus caudales más elevados, los factores de transporte exigidos para redes de climatización eran más bajos que para climatización. Para un sistema de calefacción bitubo, el factor de transporte mínimo establecido era 850; en una instalación con potencia térmica de 680 kW, la potencia absorbida de la bomba, por lo tanto, no podía superar los 800 W. Estos

factores de transporte publicados como recomendación en el año 1981 se mantuvieron en el RITE del 1998 (Real Decreto 1751/1998), sin tener en cuenta que los sistemas bitubo de calefacción ya no necesariamente trabajaban con un salto térmico de 20 K.

El factor de transporte ha desaparecido con el RITE del 2007 (Real Decreto 1027/2007), supuestamente reemplazado por "la potencia específica de los sistemas de bombeo, denominado SFP y definida como la potencia absorbida por el motor dividida por el caudal de fluido transportado, medida en $W/(m_3/s)$ ". Hay que aclarar que el acrónimo SFP hace referencia a la potencia específica de ventiladores (*Specific Fan Power*), y no se trata de un baremo adecuado para la evaluación de una bomba, porque sólo se basa en el caudal de la bomba pero ignora la presión diferencial con la cual ésta trabaja. Por lo tanto, existe actualmente en este aspecto una laguna en la reglamentación para la evaluación de la eficiencia de una bomba en las instalaciones de calefacción y climatización, ya que los reglamentos que hicieron referencia al factor de transporte están derogados y el RITE del 2007 hace referencia a un baremo inadecuado (el SFP).

2.4 Demanda anual de energía auxiliar

No obstante, el factor de transporte tampoco sería el indicador más apropiado para circuitos que funcionan en régimen de caudal variable, al considerar únicamente las potencias térmicas útiles y eléctricas consumidas en las condiciones de diseño, pero no bajo cargas parciales, que suelen aglutinar el mayor tiempo de funcionamiento de una instalación de calefacción o climatización.

El actual RITE ha tenido en cuenta este detalle y, por esta razón, especifica en la IT 1.2.4.2.5 que "la selección de los equipos de propulsión de los fluidos portadores se realizará de forma que su rendimiento sea máximo en las condiciones calculadas de funcionamiento", y que para sistemas de caudal variable, este requisito "deberá ser cumplido en las condiciones medias de funcionamiento a lo largo de una temporada".

Para la selección de una bomba hay que calcular, por lo tanto, el consumo eléctrico de la bomba durante una temporada de calefacción o climatización, teniendo en cuenta las horas de funcionamiento anuales, el perfil de cargas parciales y los modos de control que se aplicarán a la bomba. El resultado, en dimensiones de kWh/año, equivale a la demanda anual de energía auxiliar, tal como la define la UNE-EN 15316-3. Para el cálculo de este valor se pueden utilizar los procedimientos definidos en la citada norma, o se puede calcular con los programas de selección de los fabricantes de bombas, que suelen permitir este cálculo con perfiles de carga predefinidos, como el utilizado en el Reglamento (CE) Nº 641/2009, pero también con perfiles de carga definibles por el propio usuario y posiblemente más acordes a la instalación real.

3 REDES HIDRÁULICAS

Tanto el factor de transporte como la demanda anual de energía auxiliar dependen no sólo de la potencia térmica útil transportada, en forma de caudal, sino también del diseño de la red de distribución.

3.1 Pérdidas de carga en la tubería

Las pérdidas de carga en las tuberías consumen una parte importante de la presión diferencial que deben proporcionar las bombas para la circulación del fluido en la instalación. En este contexto habría que analizar criterios que se suelen utilizar para el dimensionamiento de las tuberías. Las instrucciones técnicas complementarias del Reglamento de Instalaciones de Calefacción, Climatización y Agua Caliente Sanitaria, publicadas en la ORDEN de 16 de julio de 1981, definían que las tuberías se debían calcular de forma que la pérdida de carga en tramos rectos sea inferior a 40 mm.c.a. por metro de tubería, sin sobrepasar velocidades del fluido de 2 m/s en tramos que discurren por locales habitados, y de 3 m/s en tuberías enterradas o en galerías. Tanto el RITE del 1998 como el del 2007 han renunciado a recomendar valores límites para las pérdidas de carga, aunque, como criterio de buena práctica, se sigue considerando una pérdida de carga entre 20 y 40 mm.c.a. por metro de tubería.

En otros países se suelen utilizar valores máximos de entre 5 y 15 mm.c.a. por metro de tubería, y la propia norma UNE-EN 15316-3 mencionada anteriormente contempla un valor medio equivalente a 10 mm. El diseño con pérdidas de carga más elevadas puede reducir los costes iniciales de inversión, mientras el diseño con pérdidas de carga más bajas permite reducir los costes de explotación.

3.2 Equilibrado hidráulico

El objetivo del equilibrado es garantizar por un lado que todos los elementos emisores de una instalación de calefacción o climatización reciban sus caudales y, por lo tanto, sus potencias térmicas de diseño, y, por el otro lado, garantizar también una autoridad suficiente de las válvulas de control en las instalaciones de caudal variable.

La falta del equilibrado hidráulico (Figura 4.2) se puede observar en algunos bloques de vivienda incluso desde el exterior, porque el exceso de calor en las plantas bajas a veces se suele “controlar” con la apertura de las ventanas en pleno invierno, mientras en las últimas plantas, más lejanas a la caldera, difícilmente se llega a las condiciones de confort. El “remedio” de instalar en estos casos una bomba de mayor potencia definitivamente no resuelve este problema, sino que suele sólo empeorar el rendimiento de la instalación.

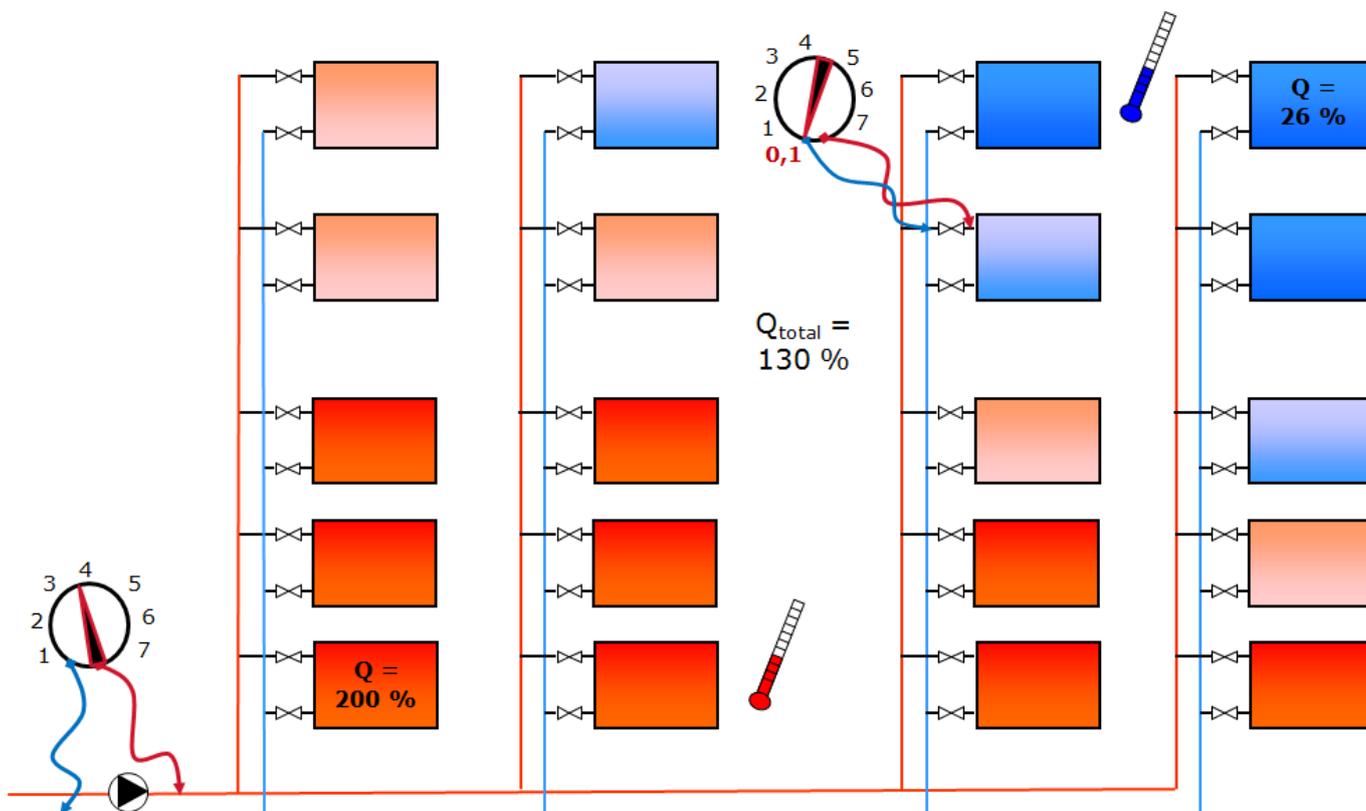


Figura 4.2. Instalación de calefacción sin equilibrado hidráulico, con caudales descompensados. Fuente: WILO

En instalaciones de caudal fijo donde todos los emisores (o generadores) requieren el mismo caudal, el equilibrado hidráulico se puede llevar a cabo mediante el propio diseño de la instalación, como, por ejemplo, el retorno invertido que se suele utilizar todavía para las instalaciones solares térmicas.

En instalaciones que trabajan con emisores de diferentes potencias y caudales, se requiere además la limitación del caudal en los emisores, en el caso de los radiadores por ejemplo, mediante el ajuste de los detentores en el retorno de los mismos. Otro elemento habitual son las válvulas de equilibrado que se suelen emplear, por ejemplo, para equilibrar los caudales entre diferentes ramales de una instalación.

En instalaciones de caudal variable, el equilibrado hidráulico debe garantizar también la autoridad de las válvulas de control.

En instalaciones de calefacción con radiadores equipados con válvulas con cabezal termostático, se deben limitar además las presiones diferenciales sobre estas válvulas, porque a partir de unos 2 m.c.a. se suelen producir ruidos que pueden ser molestos para los usuarios. En este aspecto, resulta por ejemplo contraproducente mantener para este tipo de instalaciones el criterio de los 40 mm.c.a. por metro de tubería, ya que la presión diferencial que generaría la bomba sobre los radiadores más cercanos a la caldera seguramente superaría estos 2 m.c.a. Por lo tanto, es recomendable recurrir para este tipo de instalaciones a los 5-15 mm.c.a. por metro de tubería establecidos en los reglamentos de países como Alemania y Suiza. Si el diseño y control de la instalación implica presiones diferenciales por encima de los 2 m.c.a. en los radiadores más cercanos, habría que estudiar la opción de instalar reguladores de presión diferencial en los ramales afectados.

3.3 Circuitos y bombas de caudal fijo

En el caso de la selección de bombas de caudal fijo, se debe seguir el criterio fijado en el RITE, que “la selección de los equipos de propulsión de los fluidos portadores se realizará de forma que su rendimiento sea máximo en las condiciones calculadas de funcionamiento”. Se recomienda que una bomba de caudal fijo trabaje en el rango de caudal entre el 75% y el 110% de su caudal de diseño. Se trata en este caso además de los límites de caudal que se tienen en cuenta para el cálculo del índice MEI para las bombas de rotor seco. Hay que matizar en este contexto que el valor del MEI no es un baremo adecuado para la selección de una bomba, ya que para un punto de trabajo dado, una bomba con un MEI menor puede tener una mayor eficiencia que una bomba con un MEI mayor. No obstante, el MEI permite analizar la absurdidad de lo que se podría llamar el paradigma de los 4 polos, ya que suele ser habitual encontrarse con proyectos donde se especifica de forma genérica que todas las bombas a seleccionar deben ser de 4 polos o 1.450 rpm. Aunque de antemano no hay nada que objetar a las bombas de 4 polos, este requisito paradigmático puede incrementar considerablemente los costes de explotación de una instalación, al descartar directamente posibles soluciones de mayor eficiencia en la gama de bombas de 2 polos. Como se puede observar en la Tabla 4.2, para un punto de trabajo de 65 m³/h a 32 metros de columna de agua (m.c.a.),

una bomba de bancada (ESOB) de 4 polos diseñada para este punto de trabajo tiene que alcanzar desde 2015 un rendimiento hidráulico al menos del 63,84 % para poder seguir en el mercado y conseguir un MEI igual o superior a 0,4. En el caso de una bomba de 2 polos diseñada para este mismo punto de trabajo, se debe alcanzar un rendimiento del 73,89%. Por lo tanto, se puede suponer que una bomba de 4 polos para este punto de trabajo va a consumir un 15% más de energía que una bomba de 2 polos, un sobrecoste difícilmente compensable con los esperados menores gastos de mantenimiento para una bomba de 4 polos. Incluso para una bomba Inline (ESCCi) de 2 polos se exigirá un rendimiento superior (70,47 %) que a la bomba de bancada de 4 polos. A veces los paradigmas pueden salir caros.

Tabla 4.2. Rendimientos mínimos desde el 2015 para una bomba de rotor seco con punto de diseño Q = 65 m³/h, H = 32 m.c.a. Fuente: Elaboración propia, basada en las fórmulas del REGLAMENTO (UE) N° 547/2012.

Q (m ³ /h)	H (m.c.a.)	n (rpm)	Tipo	η _{BEP 2015} (%)
65	32	1450	ESOB	63,84
65	32	2900	ESOB	73,89
65	32	1450	ESCC	63,45
65	32	2900	ESCC	73,39
65	32	1450	ESCCi	59,61
65	32	2900	ESCCi	70,47

En la selección de las bombas, hay que tener en cuenta también la eficiencia del motor de la bomba, ya que la potencia eléctrica consumida de la bomba depende tanto de su rendimiento hidráulico como eléctrico:

$$P_1 = \frac{\rho \times Q \times H}{367 \times \eta_h \times \eta_m}$$

P₁ : Potencia eléctrica consumida por la bomba (en kW).

ρ : Densidad del fluido (en kg/m³).

Q : Caudal de funcionamiento (en m³/h).

H : Presión diferencial proporcionada por la bomba (en m.c.a.).

η_h : Rendimiento hidráulico de la bomba en el punto de trabajo.

η_m : Rendimiento eléctrico del motor en el punto de trabajo.

En este contexto conviene recordar que los motores de las bombas de rotor seco están sujetos igualmente a unas exigencias de eficiencia mínima, definidas en el Reglamento (CE) N° 640/2009 y recogidas en la modificación del RITE mediante el Real Decreto 238/2013. Desde el 1 de enero de 2017, los motores eléctricos con una potencia nominal de 0,75-375 kW tendrán que tener un nivel de rendimiento IE3, o un nivel IE2 y estar equipados con un variador de frecuencia.

Suele ser frecuente que en el momento de la puesta en marcha de una bomba el caudal obtenido supere el caudal requerido, porque las pérdidas de cargas del circuito son menores de lo que se esperaba. Una medida habitual en este caso, incluso si el exceso de caudal supera el 5%, suele ser el incremento de la resistencia de la instalación, normalmente mediante una válvula de equilibrado. Aunque esto puede ser la solución más fácil para el instalador, también es la solución menos eficiente bajo el punto de vista de los costes de explotación, ya que la bomba genera un exceso de presión que se destruye directamente a continuación con una válvula estrangulada. La solución preferible en los casos donde el exceso de caudal supera el 5%, al menos para las bombas donde esta solución es viable, sería la reducción del diámetro o el cambio del rodete de la bomba, con la correspondiente reducción de la potencia eléctrica consumida, que es directamente proporcional a la presión diferencial proporcionada, como se ha mostrado anteriormente en la fórmula. Esta era la primera opción propuesta en la antigua norma UNE 100010-3:1989 y es también la solución propuesta en los “Comentarios al Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE-2007)”. El porcentaje de ahorro que se puede obtener con esta medida en muchos casos podría alcanzar los dos dígitos y suele ser, por lo tanto, considerablemente mayor que el que se obtendría, por ejemplo, con el cambio de un motor IE3 al nivel de eficiencia IE4. Especialmente para bombas de mayor potencia es una medida que se puede amortizar en pocos meses. En la Figura 4.3 se ve, por ejemplo, que con el estrangulamiento mediante válvula de equilibrado se obtiene el caudal de diseño de 100 m³/h, pero con una potencia requerida en el eje de unos 5 kW, mientras con el cambio o torneado del rodete se puede reducir esta potencia a un valor de unos 4,15 kW, lo cual equivale a un potencial de ahorro del 17% respecto a la solución con estrangulamiento.

El cambio o recorte del rodete no suele ser viable para los circuladores de rotor húmedo. No obstante, en este caso pueden estar disponibles otras medidas, como, por ejemplo, la posibilidad de la reducción de la consigna o de la velocidad de la bomba en bombas de velocidad variable, o el empleo de funciones de limitación de caudal implementados en los circuladores de caudal variable de última generación.

3.4 Circuitos y bombas de caudal variable

En el caso de circuitos de caudal variable, se debería recurrir por diversas razones a circuladores y bombas de velocidad variable. Al igual que en el caso de los circuitos de caudal constante, las bombas para los circuitos de caudal variable se seleccionan para las condiciones de diseño del circuito, que en este caso se definen como las condiciones de carga máxima. Cuando la instalación trabaja en condiciones de cargas parciales, por ejemplo, por el cierre de las válvulas con cabezal termostático en una instalación de calefacción, el caudal requerido disminuye y, por lo tanto, también las pérdidas de carga en el circuito. Desafortunadamente, en el caso de las bombas de velocidad fija, una reducción del caudal implica un aumento de la presión diferencial proporcionada. Un circulador que trabaja, por ejemplo, en las condiciones de diseño con una presión diferencial de 2 m.c.a. puede superar de esta manera fácilmente los 4 m.c.a. en condiciones de carga parcial, con el consiguiente riesgo de producir ruidos en las válvulas con cabezal termostático. Esta problemática era uno de los principales motivos para el desarrollo del primer circulador de rotor húmedo de velocidad variable, que salió al mercado en el año 1988. Aparte del problema de los posibles ruidos, las bombas de velocidad fija causan en las instalaciones de caudal variable importantes derroches de energía. Estos derroches están relacionados tanto con el exceso de consumo de las propias bombas, ya que el incremento innecesario de la presión diferencial proporcionado por la bomba influye directamente en la potencia eléctrica consumida por la misma (véase fórmula anterior), como con los consiguientes excesos de caudal en los emisores, ya que el incremento de la presión diferencial fuerza un mayor caudal del previsto por las válvulas de control, con el consiguiente exceso de energía térmica consumida.

Los circuladores de velocidad variable suelen suministrarse hoy en día con dos modos de regulación incorporados directamente en las bombas, que se pueden definir como Δp -c o presión diferencial constante, y Δp -v o presión diferencial variable.

El modo de regulación Δp -c funciona de tal manera que el circulador mantiene constante la presión diferencial proporcionada sobre una curva de control horizontal que se extiende entre la curva de la velocidad máxima de la bomba hasta el eje de ordenadas. Aunque al menos los circuladores de menor potencia suelen permitir durante cortos periodos su funcionamiento a caudal cero, se recomienda de forma general garantizar en el circuito siempre un caudal mínimo equivalente al 10% del caudal de diseño de la bomba.

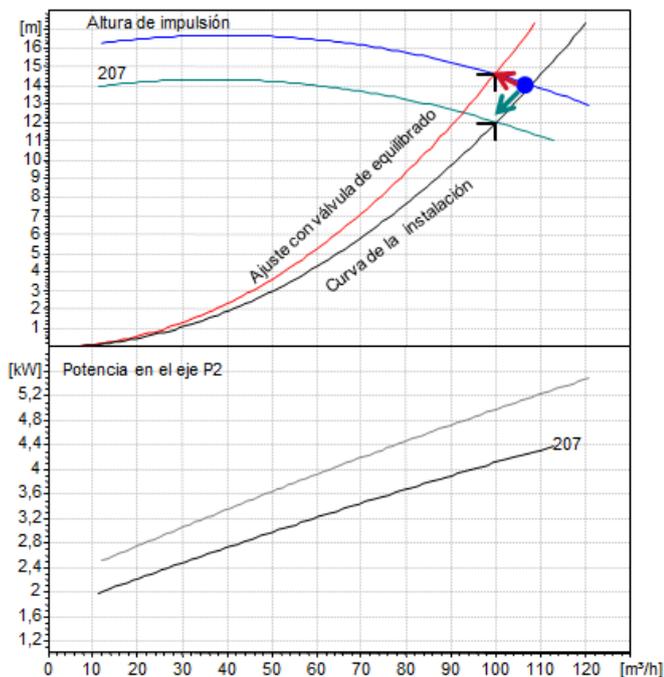


Figura 4.3. Ajuste del caudal en la puesta en marcha mediante estrangulamiento (flecha roja) o recorte del rodete (flecha y curva verde). Fuente: Elaboración propia.

El modo de regulación Dp-v trabaja con una curva de control que reduce la presión diferencial proporcionada, sobre una curva de control lineal que se extiende entre un valor de consigna sobre la curva de la velocidad máxima de la bomba y un punto sobre el eje de ordenadas que corresponde al 50% del valor de consigna anteriormente mencionado.

Ambos modos de regulación están diseñados para instalaciones de calefacción y climatización donde la variación del caudal se induce mediante el cierre parcial o completo de válvulas de dos vías en los circuitos, como, por ejemplo, las válvulas con cabezal termostático en los radiadores o válvulas de zona en los lazos de los circuitos de suelo radiante.

El modo de regulación recomendable para cada bomba depende de las características de la instalación.

El modo de regulación presión diferencial constante Dp-c suele ser más indicado para instalaciones en las cuales se dan las siguientes condiciones:

- Autoridad de las válvulas de control elevada.
- Bajas pérdidas de carga en generadores y tuberías de distribución.
- Sistemas de suelo radiante con válvulas de zona.
- Sistemas bitubo con distribución vertical por montantes.

El modo de regulación presión diferencial variable Dp-v, al contrario, suele ser más indicado para las siguientes instalaciones:

- Autoridad de las válvulas de control baja.
- Elevadas pérdidas de carga en generadores y tuberías de distribución.
- Sistemas con largos recorridos de la tubería de distribución.
- Sistemas bitubo con distribución horizontal por vivienda.

En los ramales de calefacción donde la presión diferencial sobre una válvula con cabezal termostático podría superar en las condiciones de funcionamiento una presión diferencial de 2 m.c.a., se debería plantear la instalación de reguladores de presión diferencial en estos ramales.

3.5 Circuitos de recirculación de agua caliente sanitaria

La función de los circuitos de recirculación de agua caliente sanitaria es garantizar la disponibilidad del agua caliente en el punto de consumo cuando el usuario abre un dispositivo; de esta manera se proporciona un mayor confort y se reduce el consumo del agua. Según el actual Código Técnico de la Edificación (CTE), la instalación de este circuito es obligatorio cuando la longitud de la tubería de distribución al punto de consumo más alejado sea igual o mayor que 15 m.

El aumento de confort y ahorro de agua se consigue a costa de un mayor consumo energético, tanto por el consumo eléctrico de la bomba de recirculación como por las pérdidas térmicas en las tuberías. En 1981, las instrucciones técnicas

complementarias del “Reglamento de Instalaciones de Calefacción y Climatización y Agua caliente sanitaria con el fin de racionalizar su consumo”, publicadas en la ORDEN de 16 de julio de 1981, exigían en consecuencia la desconexión de la bomba de recirculación entre las 23 horas y las 7 horas en “edificios de uso residencial como viviendas, hoteles y asimilables”, con el objetivo de reducir estas pérdidas en las horas de menor consumo de agua caliente. Este tipo de desconexiones queda hoy en día descartado en las instalaciones centralizadas de ACS sujetas al Real Decreto 865/2003, el cual establece los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.

En numerosos casos las bombas de recirculación de ACS suelen estar bastante sobredimensionados, ya que con frecuencia se suele cometer el error de añadir la altura de la instalación a la altura de impulsión, ignorando en este momento que el circuito de recirculación de ACS se debe considerar hidráulicamente un circuito cerrado, y por el otro lado se suelen obtener caudales en exceso, basados en cálculos empíricos que no tienen en cuenta el nivel de aislamiento que tienen que proporcionar hoy en día las tuberías de distribución de ACS, sin tener que olvidar que muchas veces la preocupación por la legionelosis hace olvidar criterios de eficiencia y ahorro energético.

Como el CTE estipula en su documento HS4 que para determinar el caudal que circulará por el circuito de retorno, se estimará que en el grifo más alejado, la pérdida de temperatura sea como máximo de 3° C desde la salida del acumulador o intercambiador en su caso, se podría llegar a la conclusión que un salto de temperatura de sólo 1° C entre salida del acumulador y el grifo más alejado implique un mejor cumplimiento del CTE, pero no es así. Simplemente existirá un caudal de exceso que aproximadamente triplica el caudal requerido, con el consiguiente derroche de energía.

Por lo tanto, justo para estas bombas de recirculación de ACS, que debido a las exigencias de prevención deben funcionar actualmente las 24 horas al día, 8760 horas al año, se debería prestar un poco más de atención en su selección y rendimiento.

No obstante, estos “circuladores de agua potable” han quedado fuera del ámbito del REGLAMENTO (CE) Nº 641/2009, y por lo tanto en este momento no existen requisitos de eficiencia para ellos. Consecuentemente, la instalación de circuladores de recirculación de agua caliente sanitaria suele ofrecer un importante potencial de ahorro y plazos de amortización relativamente cortos, en comparación con circuladores de motor asíncrono y velocidad fija, no sólo por el mayor rendimiento de sus motores, sino también por sus posibilidades de ajuste, las cuales permiten una mejor limitación del caudal sin necesidad de estrangular la instalación.

En la Figura 4.4 se puede ver la curva de un circulador para ACS de 3 velocidades con motor asíncrono, seleccionado

originalmente para un caudal de $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ y una pérdida de carga de unos 3 m.c.a., para lo cual se requiere una potencia absorbida de unos 87 W, lo cual corresponde a un consumo anual de unos 762 kWh. Si en la puesta en marcha se reduce finalmente el caudal de trabajo a $1,1 \text{ m}^3/\text{h}$, con el objetivo de obtener realmente un salto de 3° C entre la salida del acumulador y el grifo más alejado, y se cambia a la velocidad media, se puede reducir la potencia absorbida a unos 63 W, que equivalen a unos 552 kWh.

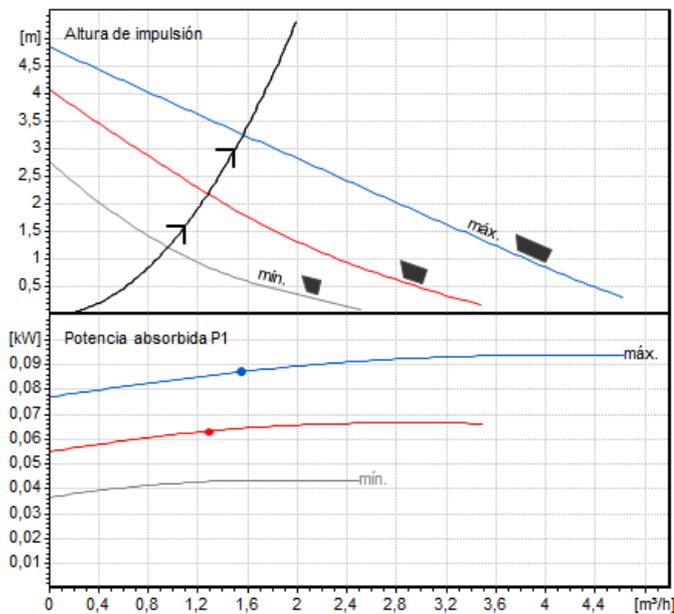


Figura 4.4 Circulator para ACS de 3 velocidades con motor asíncrono, seleccionado para un caudal de $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ a 3 m.c.a. y finalmente instalada para un caudal de $1,1 \text{ m}^3/\text{h}$. Fuente: Elaboración propia.

Si el proyectista y el instalador tuviesen en cuenta criterios de eficiencia energética para esta instalación, deberían seleccionar el circulator de alta eficiencia cuya curva aparece en la Figura 4.5. En este caso, con el caudal de diseño original la potencia absorbida se limitaría a unos 43 W, que equivalen a un consumo anual de unos 377 kWh, lo cual proporciona un ahorro por encima del 50% en comparación con la solución asíncrona. Si la velocidad del circulator se ajusta finalmente a un valor correspondiente al caudal realmente requerido de $1,1 \text{ m}^3/\text{h}$, la potencia absorbida se podría reducir a unos 22 W, equivalentes a unos 193 kWh, proporcionando un ahorro correspondiente del 65% en comparación con la bomba de tres velocidades. En este contexto no se debe olvidar que en el mercado existen incluso muchos circuladores de ACS de motor asíncrono de una única velocidad, lo cual convierte su selección en una verdadera lotería.

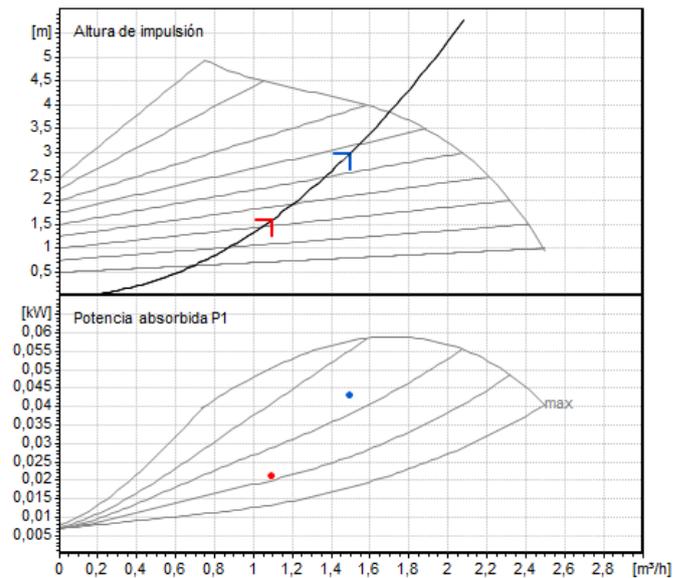


Figura 4.5. Circulator para ACS de imán permanente, seleccionado para un caudal de $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ a 3 m.c.a. y finalmente instalada para un caudal de $1,1 \text{ m}^3/\text{h}$. Fuente: Elaboración propia.

3.6 Grupos de presión para el abastecimiento de agua

Los grupos de presión se instalan en edificios donde la presión de la red de abastecimiento no puede garantizar el suministro de agua en los puntos más desfavorables, en la Comunidad de Madrid se debe instalar un grupo de presión “en todos los inmuebles a partir de dos alturas, excepto en viviendas unifamiliares o en aquellas que la entidad suministradora garantice la presión en la red general” (Orden 2106/1994 de la Comunidad de Madrid).

Actualmente el CTE distingue entre dos tipos de grupos de presión, los grupos “convencionales” que carecen de variador de frecuencia, y los grupos “de accionamiento regulable”, que incorporan al menos un variador de frecuencia. Mientras los grupos convencionales suelen operar con amplios diferenciales de presión relacionados con las presiones de arranque y parada de las bombas (estos diferenciales aumentan en el caso de grupos controlados por presostatos con el número de bombas), los grupos de presión con variador de frecuencia trabajan con diferenciales más estrechas, trabajando siempre alrededor de la presión de consigna.

Tanto la Orden 2106/1994 como el CTE prevén la instalación de un baipás que permita el aprovechamiento de la presión de la red cuando ésta sea suficiente, aunque el CTE permite prescindir del baipás en el caso de los grupos con variador de frecuencia. No obstante, hay que constatar que, en una instalación con baipás y grupo convencional, debido al principio de funcionamiento de estos grupos, los intervalos de aprovechamiento del baipás van a ser mucho más reducido que en el caso de un grupo con variador de frecuencia.

En una instalación donde se requiere p.ej. una presión de 3 bar en la entrada de la batería de contadores para garantizar el abastecimiento al grifo más desfavorable en horas de máxima demanda, un grupo convencional mantendrá presurizado la instalación sólo con la bomba principal en un rango de 4 - 5,5 bar, debido al funcionamiento en cascada y los diferenciales de presión requeridos por los presostatos habitualmente empleados en este tipo de grupos de presión. Si la presión de consigna de un grupo con variador de frecuencia se estableciese en este caso p.ej. en 3,2 bar, con una banda de operación de entre 3,0 y 3,4 bar, en un edificio con una presión de red disponible (aunque no garantizada por la compañía) en el baipás de 3,8 bar, se podría observar que en el caso del grupo convencional el baipás sólo se aprovecharía en los momentos de máxima demanda, cuando al menos hubiera entrada en funcionamiento una segunda bomba, en intervalos puntuales.

En el caso de un grupo con variador de velocidad, el grupo al contrario sólo arrancararía en los momentos cuando se ce-

rrase el baipás para la renovación del agua en el depósito, tal como se estipula en la Orden 2106/1994. Como se puede observar, a pesar de que el CTE permite prescindir del baipás en caso de instalaciones con grupos con accionamiento regulable, en realidad suelen ser las instalaciones donde más provecho se podría sacar de este dispositivo.

En el caso de los grupos de presión, los posibles ahorros que puede proporcionar un grupo con variador de velocidad no se deben contabilizar sólo en el consumo eléctrico de las bombas, sino también en la posible reducción del consumo de agua, ya que en los cabezales de ducha sin limitador de caudal, una mayor presión resulta en un mayor caudal. Un cabezal de ducha que proporciona con una presión de diseño de 1,5 bar un caudal de unos 12 l/min, facilitará con una presión de entrada de 3 bar un caudal de casi 17 l/min. En estas condiciones, en una ducha de 4 minutos de duración, no sólo se gastan unos 20 litros más de agua, sino también un 40% más de energía térmica que se había empleado para el calentamiento del ACS consumido.

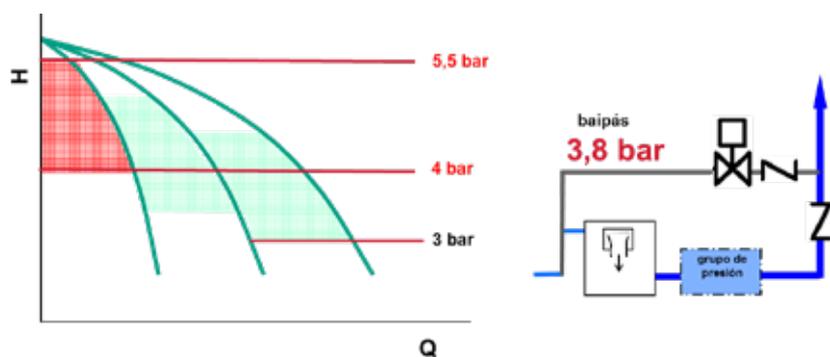


Figura 4.6. Grupo de presión convencional con baipás. Fuente: Elaboración propia - Wilo.

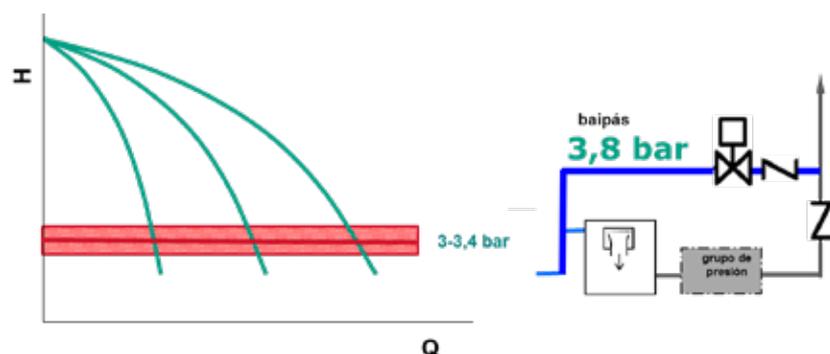


Figura 4.7. Grupo de presión con variador de frecuencia con baipás. Fuente: Elaboración propia - Wilo.

AENOR (2018): “UNE-EN 15316-3 Eficiencia energética de los edificios. Método para el cálculo de las demandas energéticas y de las eficiencias de los sistemas. Parte 3: Sistemas de distribución en locales (agua caliente sanitaria, calefacción y refrigeración). Módulos M3-6, M4-6, M8-6”. AENOR. Madrid, España

IDAE (2007): “Comentarios al Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE-2007)”. www.idae.es.

UNIÓN EUROPEA (2009): “REGLAMENTO (CE) N° 640/2009”. Diario Oficial de la Unión Europea, L 191/26

UNIÓN EUROPEA (2009): “REGLAMENTO (CE) N° 641/2009”. Diario Oficial de la Unión Europea, L 191/35

UNIÓN EUROPEA (2012): “REGLAMENTO (UE) N° 547/2012”. Diario Oficial de la Unión Europea, L 165/28

UNIÓN EUROPEA (2012): “REGLAMENTO (UE) N° 622/2012”. Diario Oficial de la Unión Europea, L 180/4

■ CAPÍTULO 5

INSTALACIONES CENTRALIZADAS A DOS TUBOS CON ESTACIONES DE TRANSFERENCIA —



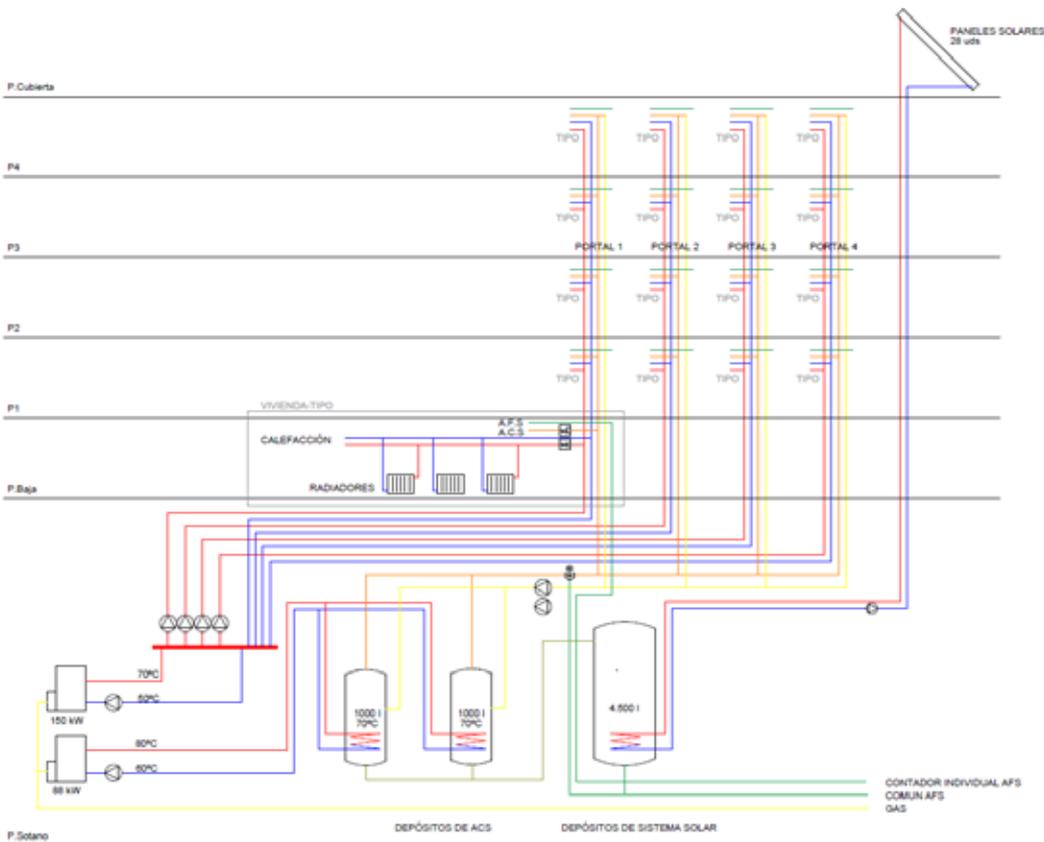
1 INTRODUCCIÓN

Conseguir mejorar la eficiencia energética en los edificios se ha centrado principalmente en dos enfoques diferentes, mejorar la envolvente del edificio con el objetivo de reducir su demanda energética y modernizar el sistema de calefacción y suministro de ACS. En edificios residenciales en altura, incrementar el aislamiento a veces conlleva un ahorro de energía inferior al esperado inicialmente. Esto se debe principalmente a las pérdidas energéticas que se generan en los sistemas de producción de calor. Por este motivo, es importante prestar atención a la modernización de los sistemas centralizados de calefacción con el objetivo de conseguir una reducción significativa de la demanda energética final del edificio.

En este capítulo se va a explicar una metodología de instalación centralizada diferente e innovadora, que permite reducir las pérdidas energéticas en distribución y su integración con las instalaciones de energía solar térmica para conseguir una mayor eficiencia en todo el sistema de producción y suministro de calor en el edificio.

2 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS CENTRALIZADOS

2.1 Instalación centralizada tradicional a 4 tubos



El sistema centralizado para calefacción y ACS más comúnmente instalado en España, como se muestra en la Figura 5.1, consiste en una red de distribución de calor mediante 4 líneas de tuberías. El agua de calefacción y ACS se suministran por líneas diferentes de tuberías, 2 tubos para el suministro de calefacción (impulsión y retorno) y 2 tubos para ACS + recirculación. El ACS se acumula en depósitos especialmente diseñados para ello, a una temperatura mínima de 60° C por razones higiénicas principalmente para la prevención de la legionelosis.

El volumen de acumulación de ACS dependerá del binomio volumen de acumulación/potencia del generador. El Código Técnico de la Edificación en el documento básico HE4 establece un consumo de 22 litros/día por persona de ACS a 60° C para viviendas multifamiliares y, en función del número de dormitorios, establece el número de personas por vivienda. En base a esto, y a modo de ejemplo, un edificio de viviendas en altura de 60 viviendas de 3 dormitorios con acumulación al 50% del consumo diario, necesitaría un mínimo de 1.500 litros de acumulación de ACS a 60° C.

El agua de calefacción se distribuye hasta la entrada de cada vivienda, donde mediante un contador de energía se realiza el cálculo del consumo individualizado por vivienda, en función del salto térmico y el caudal que circula por la vivienda.

Por otro par de tuberías paralelas se distribuye el agua caliente sanitaria hasta cada vivienda, donde mediante un contador volumétrico se establece el consumo de ACS realizado, para posteriormente ponderar el valor de la energía consumida en el suministro de ACS.

Figura 5.1. Esquema de principio Instalación centralizada tradicional. Fuente: Estudio comparativo técnico-económico instalaciones centralizadas. Uponor – Simulaciones y Proyectos.

2.2 Instalaciones centralizadas a 2 tubos

En este sistema se busca simplificar la instalación y reducir las pérdidas energéticas en distribución. Para ello, se considera una red doble de tuberías (ida y retorno) como se muestra en la Figura 5.2. Mediante este par de tubos se realiza el suministro tanto de calefacción como de ACS. El ACS se calienta a demanda y de manera instantánea mediante estaciones de transferencia de calor que se instalan en cada vivienda, bien en su interior o en la zona de patinillos al tener la posibilidad de incluir el contador de energía en su configuración. De acuerdo con esto, esta solución permite que la temperatura general del fluido en los tubos de distribución se sitúe por debajo de 60° C. La red de distribución de calor debe cumplir un criterio de confort para la producción de ACS de 45° C. Para lograr esto de forma segura, la temperatura de suministro se debe establecer en un míni-

mo de 50° C. La medición del consumo se realiza mediante un único contador que se encargará de medir la energía consumida tanto en la distribución de calefacción como la energía consumida para producir el ACS instantáneo en el intercambiador de calor.

Las principales ventajas de la solución centralizada a 2 tubos frente a la tradicional de 4 tubos es la reducción general de temperatura en el suministro, ausencia de almacenamiento central de ACS y reducción de la longitud total de las tuberías de distribución a instalar, lo que supone una importante reducción de pérdidas térmicas. La integración simplificada de la tecnología de energía solar térmica es otra ventaja de las redes de tuberías a 2 tubos en general, pues permite un apoyo pleno tanto para ACS como para calefacción. Esto permite unos ahorros energéticos totales en los meses más favorables por temperatura demandada y radiación solar recibida.

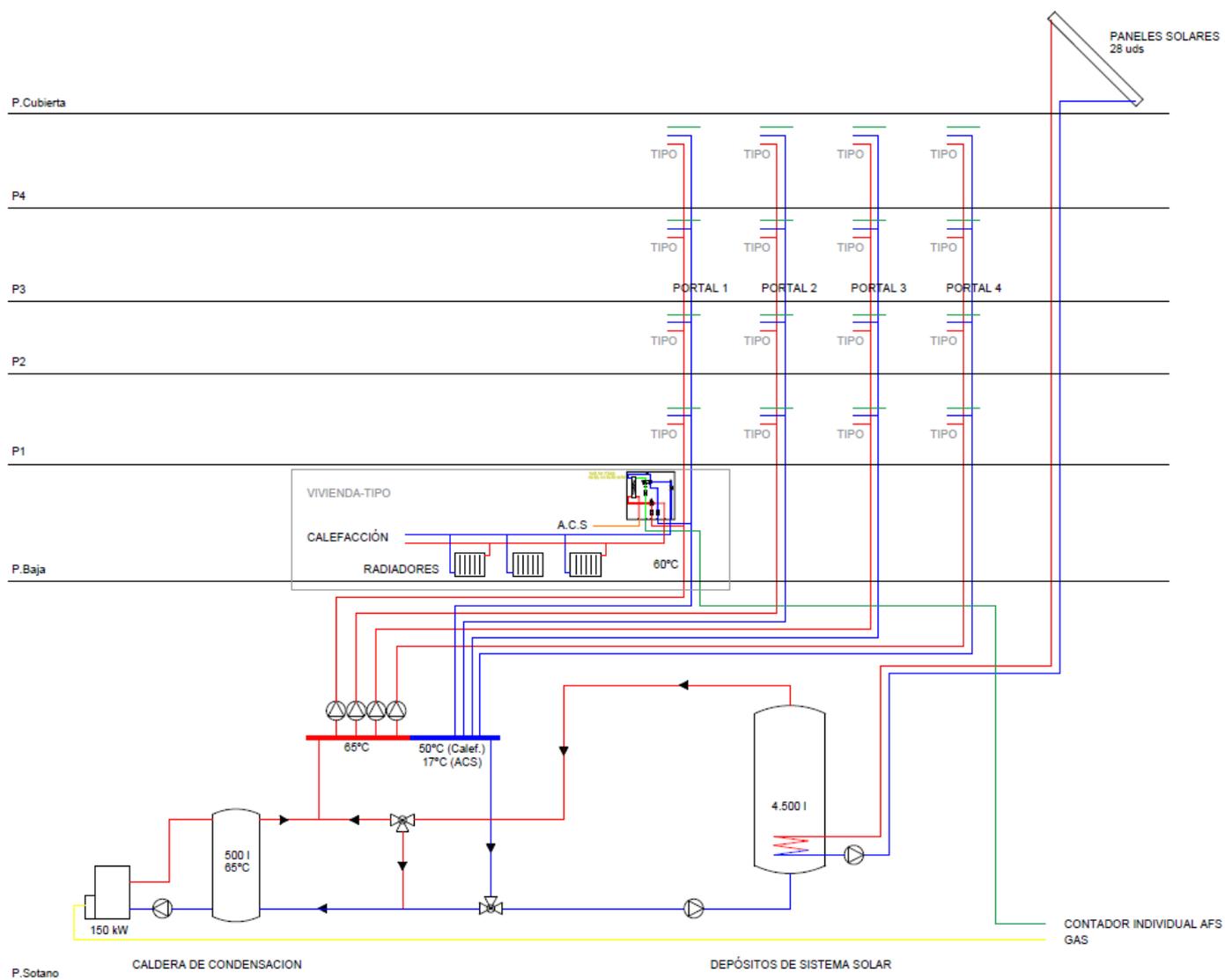


Figura 5.2. Esquema de principio Instalación centralizada a 2 tubos. Fuente: Estudio comparativo técnico-económico instalaciones centralizadas. Uponor – Simulaciones y Proyectos.

Según los resultados obtenidos del estudio realizado por el ISES International Solar Energy Society (*Oliver Arnold, Mercker et al.*) donde se realiza una comparación de los sistemas 4T y 2T frente a un sistema ideal (sin pérdidas), el sistema 4T convencional exhibe un 20% más de demanda de calor que el sistema de referencia ideal sin pérdidas, lo que indica el potencial de optimización total del diseño de suministro a un nivel de confort dado. El cambio de configuración de 4T a un ajuste básico de 2T reduce la demanda total de energía en un 10% con respecto al diseño convencional, pero la demanda sigue siendo un 8% superior al sistema de referencia idealizado. La Figura 5.3 proporciona los detalles: las pérdidas de distribución de calor inutilizables se reducen significativamente por el cambio de configuración descrito, de modo que se aumenta la eficiencia de distribución. Esta eficiencia puede evaluarse a partir del aprovechamiento de las pérdidas de calor, que se define como la relación entre las pérdidas de calor utilizables del sistema y las pérdidas de calor en general.

La integración de un sistema solar térmico en una instalación centralizada a 2 tubos permite incorporar de una manera muy sencilla toda la energía solar térmica en un único circuito de distribución, por lo que directamente dará servicio tanto a la producción de ACS como al suministro de calefacción.

En un edificio común de vivienda residencial, tal y como se refleja en “Claves del consumo doméstico de agua en la Comunidad de Madrid” del Canal de Isabel II, el 69% del consumo de una vivienda se realiza en baños y duchas, cuyo consumo se centra en las primeras y últimas horas del día, asociado a los hábitos de higiene. Así, tradicionalmente los máximos consumos se producen entre las 6 y las 8 horas, y entre las 19 y las 21 horas.

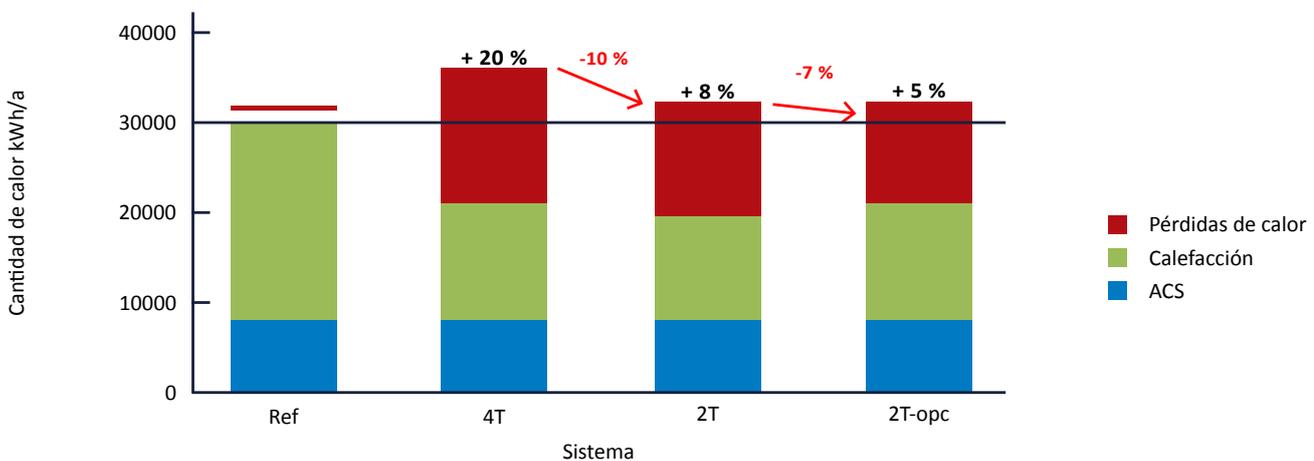


Figura 5.3: Impacto de la red de distribución de calor en la demanda de energía del edificio. Fuente: Efficiency Analysis of Solar Assisted Heat Supply Systems in Multi-Family Houses ISES. International Solar Energy Society.



Figura 5.4: Distribución horaria del consumo de agua por tipo de día. Fuente: Claves del consumo doméstico de agua en la Comunidad de Madrid. Canal de Isabel II 2018.

Con este patrón de comportamiento, se observa que durante las horas centrales del día, la demanda de ACS disminuye considerablemente, que es cuando coincide con la máxima radiación y máximo rendimiento de la energía solar térmica. Con los sistemas centralizados a 2 tubos, dicha energía solar térmica es aprovechada para dar servicio al sistema de calefacción, cuyo funcionamiento, en términos generales, sigue activo durante las horas centrales del día.

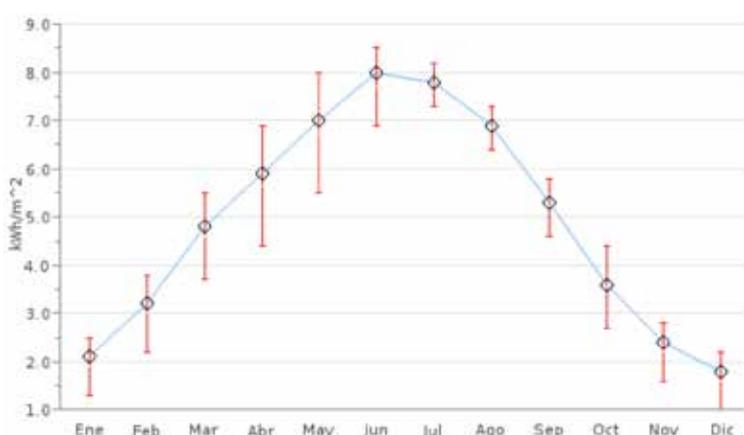
Este aprovechamiento solar térmico se incrementa en los meses durante los cuales la irradiación solar es más favorable y aún sigue siendo necesario tener activado el circuito de calefacción (abril, mayo y octubre). En la Figura 5.5 se puede observar la distribución de la irradiación solar anual

en la ciudad de Madrid, donde los meses de abril y mayo se sitúa por encima de los 5,9 kWh/m².

En la Figura 5.6, de manera orientativa, se puede ver la evolución del uso mensual de la calefacción según la zona climática, siendo la Comunidad de Madrid clima continental.

Por este motivo, se puede concluir que los sistemas solares térmicos son de gran ventaja tanto para aumentar el rendimiento del sistema como para reducir la demanda de energía primaria, consiguiéndose un aprovechamiento mayor y más eficiente de la energía solar térmica mediante sistemas centralizados a 2 tubos.

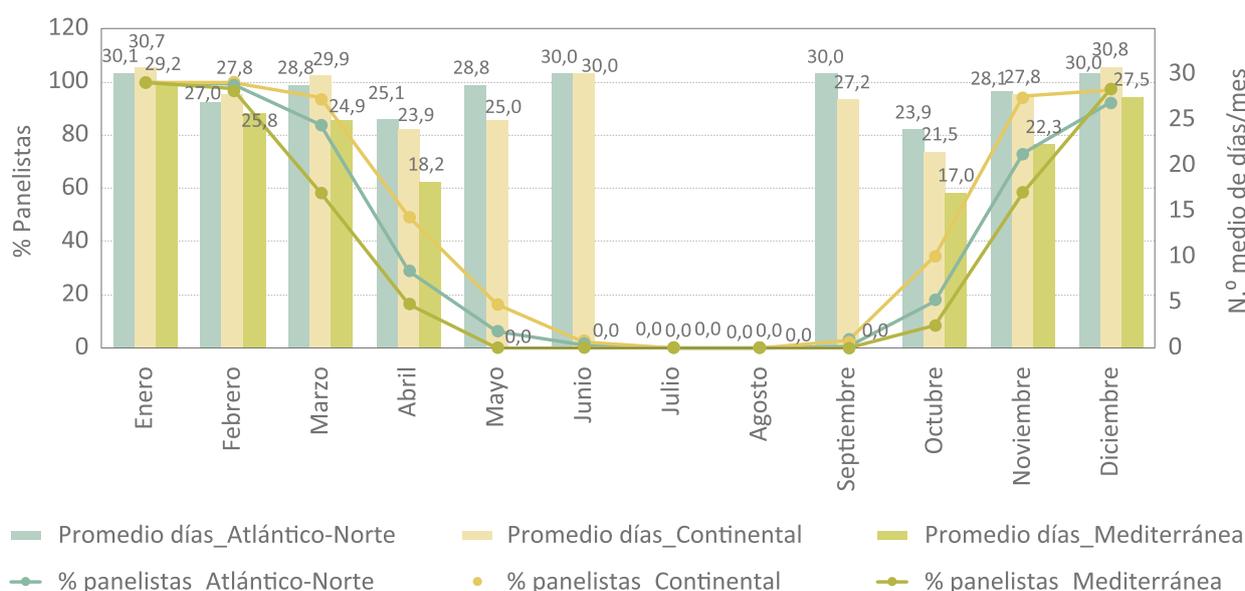
IRRADIACIÓN SOLAR GLOBAL SOBRE PLANO HORIZONTAL
Valores diarios medios para el emplazamiento: Latitud 40.35 Longitud: -3.69



(kWh/m ²)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Percentil 75	2.5	3.8	5.5	6.9	8.0	8.5	8.2	7.3	5.8	4.4	2.8	2.2
Valor medio	2.1	3.2	4.8	5.9	7.0	8.0	7.8	6.9	5.3	3.6	2.4	1.8
Percentil 25	1.3	2.2	3.7	4.4	5.5	6.9	7.3	6.4	4.6	2.7	1.6	1.0

Figura 5.5. Irradiación solar anual en Madrid. Fuente: ADRASE-Ciemat.

Uso mensual de la calefacción según zona climática



Muestra: 600 panelistas.

Figura 5.6. Uso mensual de la calefacción según zona climática. Fuente: Estudio SPAHOUSEC II. IDAE.

2.3 Principales diferencias entre instalaciones centralizadas 2L vs 4L

A continuación, se exponen las principales diferencias entre los dos tipos de instalaciones centralizadas, tradicional con 4 tuberías vs 2 tuberías con estaciones de transferencia.

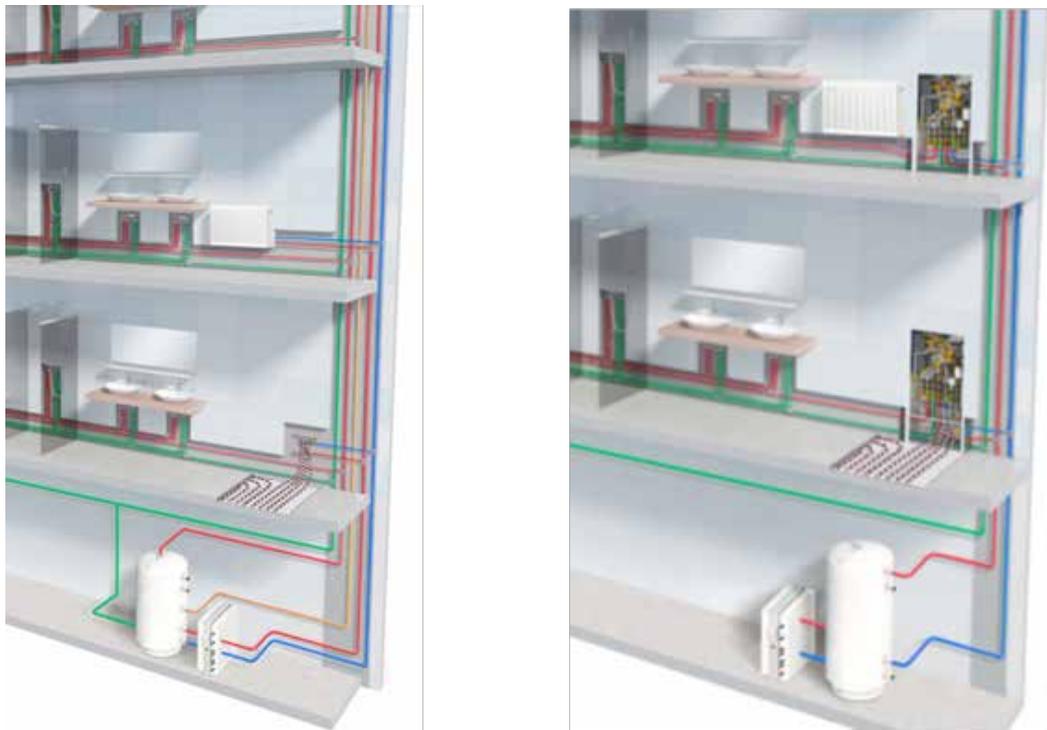


Figura 5.7. Comparativa sistema 4 tubos y 2 tubos. Fuente: Uponor

Tabla 5.1. Comparativa instalación centralizada 4 tubos y 2 tubos

Instalación centralizada 4 tuberías	Instalación centralizada 2 tuberías
Red de distribución	
<ul style="list-style-type: none"> • 2 redes de distribución calefacción y ACS • Dos temperaturas de impulsión diferentes. • Mayores pérdidas energéticas en distribución. • Sin posibilidad de realizar recirculación en el interior de las viviendas. 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 red de distribución única: impulsión y retorno • Esquema de principio más sencillo: menos elementos a mantener en la sala de máquinas. • Regulación hidráulica en cada vivienda. • Producción de ACS a demanda e instantánea. Se eliminan los depósitos de ACS, con sus costes de mantenimiento. • La producción de ACS se acopla a la potencia de calefacción, mejorando el rendimiento de las calderas e incluyendo un depósito de inercia para calefacción. • Retornos más bajos que permiten obtener máximo rendimiento de las calderas de condensación y mayor salto térmico del campo solar. • Reducción de pérdidas energéticas en distribución y costes de instalación.
Aportación energía solar térmica	
<ul style="list-style-type: none"> • Aportación solar solo para la producción de ACS 	<ul style="list-style-type: none"> • Aportación solar al circuito primario, ACS y calefacción. • Esquema de principio sencillo dentro de la sala de calderas. • Reutilización total del excedente solar (meses de marzo a octubre) que aportarían el 100% del sistema, mejorando significativamente la eficiencia.

Medición de consumos

- Necesidad de 2 contadores, volumétrico para ACS y energía para calefacción.
- El consumo energético de ACS se hace extrapolando el volumen consumido, dando valores desvirtuados dependiendo de la cercanía de la vivienda al depósito de ACS
- Único contador de energía para ACS y calefacción.
- El ACS se produce de manera instantánea. Para ello extrae la energía del primario, por lo que la medición es exacta.

Recirculación ACS en el interior de las viviendas

- Problema sin resolver de manera eficaz (Por ejemplo, existen instalaciones con contadores en entrada y recirculación cuya diferencia de volúmenes sería la medición).
- Las estaciones son modulares y permite incluir, cuando es necesario (L>15 metros) un módulo de recirculación de ACS con programación horaria. El consumo será contabilizado a través del contador de energía existente.

Confort del usuario

- La comunidad de vecinos determina el horario de temporada de calefacción.
- El ACS es acumulado en depósitos, los cuales deberían ser mantenidos y limpiados periódicamente.
- Una única red de suministro de energía. Sin horario. Disponibilidad total de ACS y calefacción durante todo el año.
- Producción de ACS instantánea y a demanda que garantiza la máxima higiene en el suministro.

Eficiencia energética

El ahorro proporcionado por la solución a 2 tubos se fundamenta en estos pilares:

- Reducción de pérdidas energéticas en la red de distribución
- Reducir volúmenes de acumulación y la pérdida energética que se produce en estos. Los depósitos penalizan la calificación energética.
- Máximo aprovechamiento de la energía solar térmica.
- La red de suministro a 2 tubos se plantea siempre con caudal variable (evitando mover todo el caudal si no hay demanda).
- Retornos de temperatura más bajos que permite aprovechar el máximo rendimiento de la tecnología de condensación y obtener un mayor salto térmico del campo solar.
- Producción de ACS instantánea y a demanda. Evita calentar agua que no es utilizada.

2.4 Descripción de las estaciones de transferencia

Las estaciones de transferencia o mochilas de producción de ACS instantánea son equipos totalmente premontados desde fábrica que permiten la distribución eficiente y equilibrada de calefacción y la producción instantánea de ACS en el momento de demanda. Esto lo consigue gracias a un intercambiador de calor y un sistema de priorización para ACS. Son equipos totalmente modulares que permiten incorporar componentes en función de las necesidades de cada proyecto, pudiendo combinar elementos diferentes en el mismo proyecto. Esto permite que, dentro de un mismo proyecto, podamos tener viviendas con suelo radiante, con radiadores, con bomba de recirculación o sin ella, todo conectado a la misma red de distribución.

Entre los componentes principales cabe destacar:

- A.** Potente Intercambiador de calor que garantice un suministro fiable del ACS y que, a su vez, permita reducir la temperatura del primario.



Figura 5.8. Esquema de entrada en el circuito.

Tabla 5.2. Variación de los litros de ACS/minuto y potencia en función del número de placas.

Intercambiador de calor	litros ACS/min (dT 35 °C)	Potencia aprox. kW
GBS 240H-14 (14 placas)	12 l/min	35
GBS 240H-20 (20 placas)	15 l/min	42
GBS 240H-30 (30 placas)	17 l/min	48
GBS 240H-40 (40 placas)	20 l/min	54

- B.** Válvula proporcional PM de priorización de ACS. Su misión es derivar parte del primario hacia el intercambiador de calor cuando existe una demanda de agua caliente sanitaria. Dependiendo del caudal demandado de ACS, la válvula actuará de manera proporcional, pudiendo tener servicio tanto de ACS como calefacción de manera simultánea.



Figura 5.9. Válvula proporcional de priorización de ACS. Fuente: Uponor

- C.** Válvulas de equilibrado por presión diferencial para garantizar el reparto de caudal desde las tuberías de distribución.

Tabla 5.3. Presiones de válvulas de equilibrado.

Rango de ajuste	Ajuste de fábrica
100 – 400 mbar	200 mbar

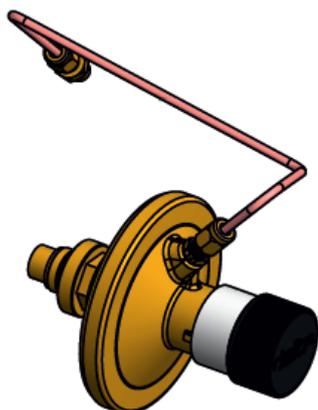


Figura 5.10. Válvula de equilibrado. Fuente: Uponor

- D.** Grupo de impulsión para instalaciones de suelo radiante, con el objetivo de poder garantizar un ajuste de temperatura más óptimo en el sistema de calefacción mediante una válvula mezcladora, así como garantizar un suministro del caudal necesario en cada vivienda.

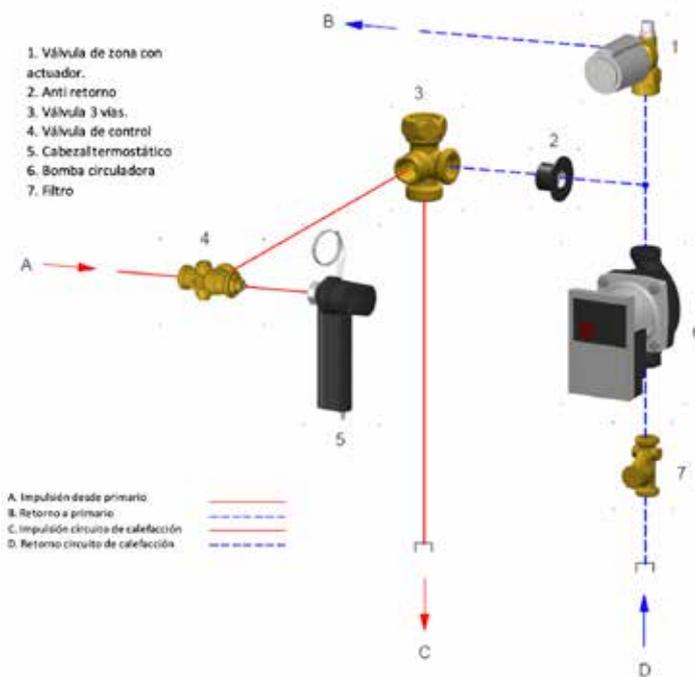


Figura 5.11. Esquema de grupo de impulsión. Fuente: Uponor

- E.** By-pass termostático en el primario, que permite acercar una pequeña recirculación de las tuberías de distribución lo máximo posible al intercambiador de calor, de modo que garantice una respuesta inmediata cuando existe demanda de ACS. Este bypass se instala de manera que esta pequeña recirculación en el interior de la estación no circule por el contador de energía.
- F.** Válvula termostática de ACS para ajustar la temperatura de salida del agua caliente. Es imprescindible cuando las temperaturas en el primario superan los 65°C

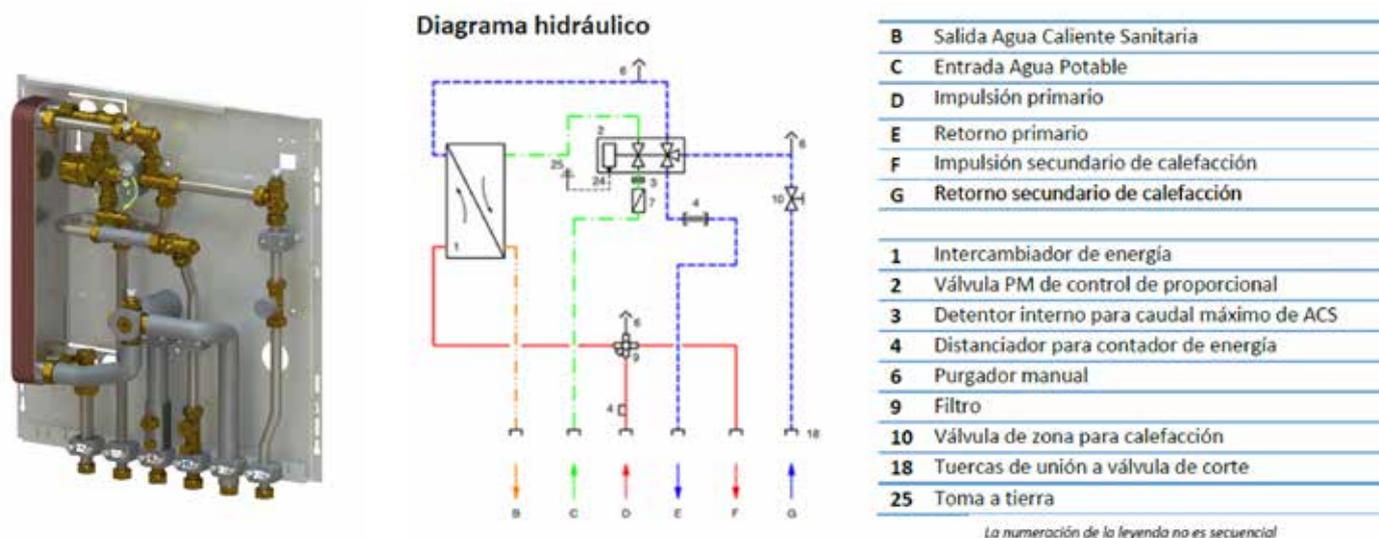


Figura 5.12. Esquema de principio módulo básico – ACS y radiadores. Fuente: Uponor – Modelo Combi Port B1000.

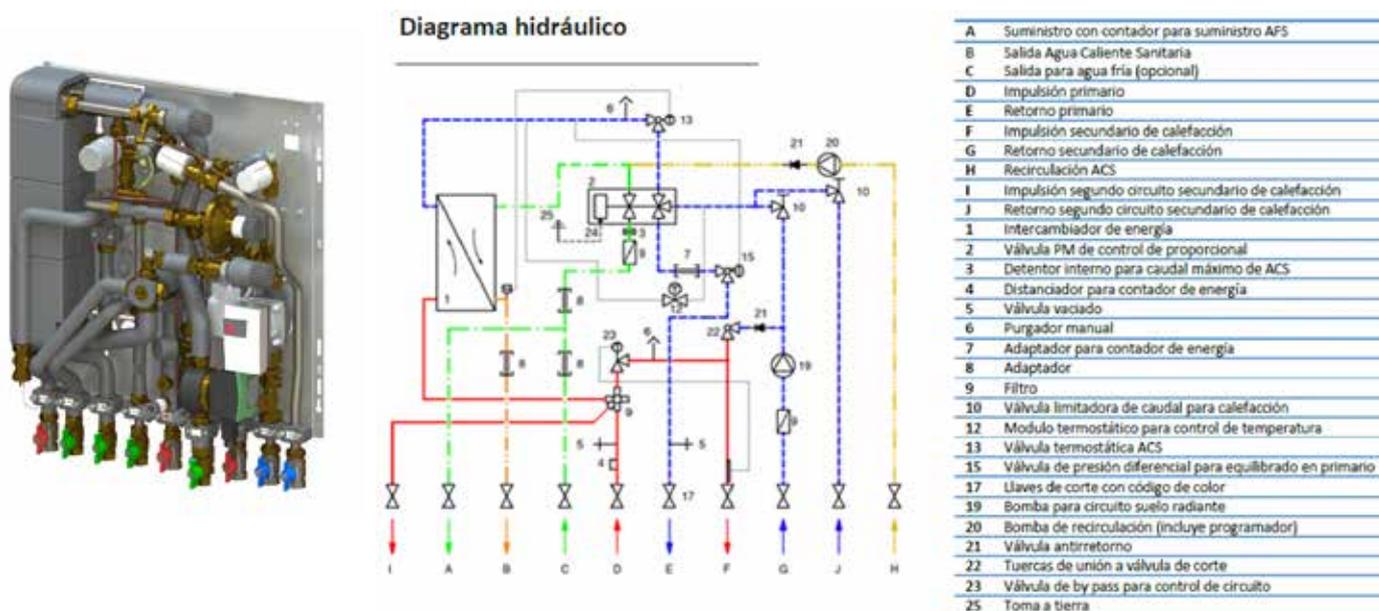


Figura 5.13. Esquema de principio módulo completo – ACS / radiadores / suelo radiante / recirculación ACS. Fuente: Uponor.

3 DIMENSIONADO DE UNA INSTALACIÓN

3.1 Simultaneidad

Los cálculos que involucran sistemas con estaciones de transferencia de calor difieren de los cálculos para instalaciones convencionales. El principal objetivo de las instalaciones centralizadas a dos tubos es acoplar la producción tanto de ACS como calefacción a la potencia de calefacción, así como ajustarse a los caudales demandados en calefacción para el sistema. Por ello, es importante considerar el factor de simul-

taneidad en la producción de ACS para no sobredimensionar la instalación y ajustar su diseño para que exista una combinación de eficiencia-coste positiva.

El mejor estudio que existe sobre estos picos simultáneos de demanda de ACS ha sido realizado por el Instituto Tecnológico Danés, siendo el estudio más reciente la norma alemana VDI 2072 “Heat transfer station with water/water heat exchangers for continuous-flow water heating/space heat supply”.

En la figura adjunta 5.14 se pueden observar las diferentes simultaneidades tenidas en cuenta para los cálculos con las estaciones de transferencia.

Simultaneity factors for heat interface units with domestic water heaters in the through-flow principle

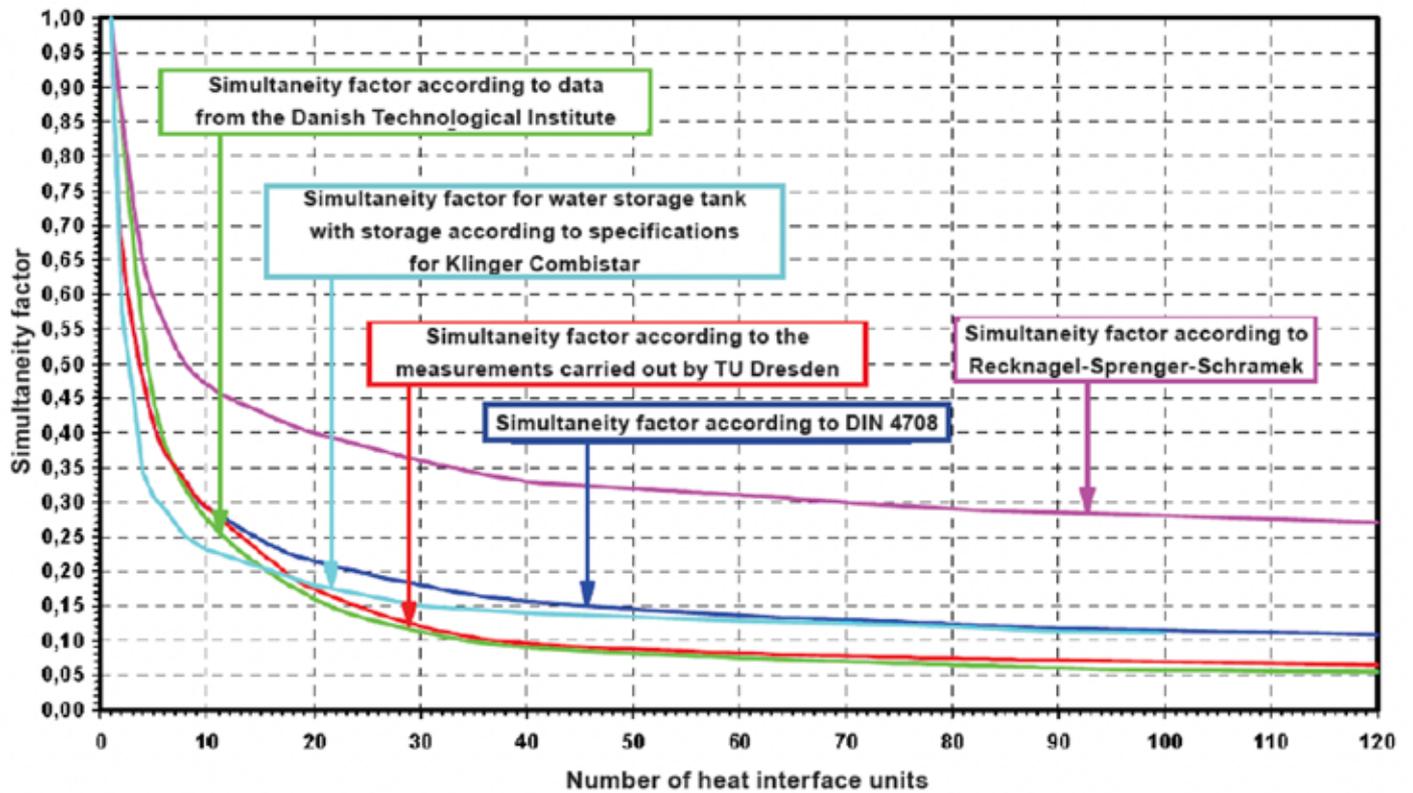


Figura 5.14. Características del factor de simultaneidad según diferentes fuentes. Fuente: TUD Report.

Conforme a la norma VDI 2072, el factor de simultaneidad se calcula siguiendo la siguiente expresión:

$$\Phi = 0,03 + 0,5/\sqrt{N} + 0,45 \cdot 1/N$$

Donde:

Φ = factor de simultaneidad para producir ACS con un primario de calefacción.

N = número viviendas con necesidades similares.

3.2 Ejemplo de cálculo

Antes de realizar cualquier cálculo es importante tener claro los siguientes aspectos:

- Temperatura de impulsión del sistema.
- Potencia demandada en calefacción.
- Tamaño del intercambiador de calor para suministro de agua caliente sanitaria.
- Temperatura requerida de ACS y salto térmico (por ejemplo, de 10° C a 45° C).
- Presión diferencial disponible.
- Presión de entrada de agua de red.

Ejemplo de cálculo:

- Edificio residencial de 12 viviendas en altura.
- 3 montantes con 4 viviendas cada una.
- Potencia de calefacción requerida: 5 kW / vivienda.
- Temperatura de impulsión: 65° C
- Tamaño del intercambiador: 30 placas – 48 kW.
- Caudal ACS instantáneo: 17 l/min
- Temperatura suministro ACS: 50° C

1. Selección de la estación según las necesidades de ACS.

Para este ejemplo, utilizaremos la estación Uponor Combi Port B 1000 17 l/min.

2. Cálculo de caudales y pérdidas de carga.

Para realizar el cálculo se utilizan las curvas de rendimiento de los equipos:

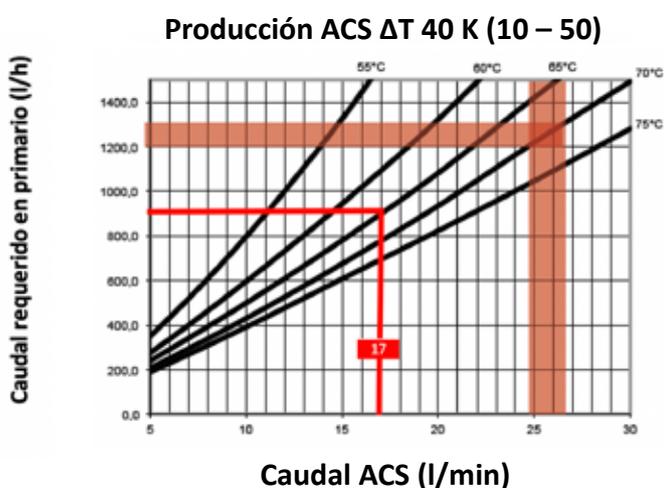
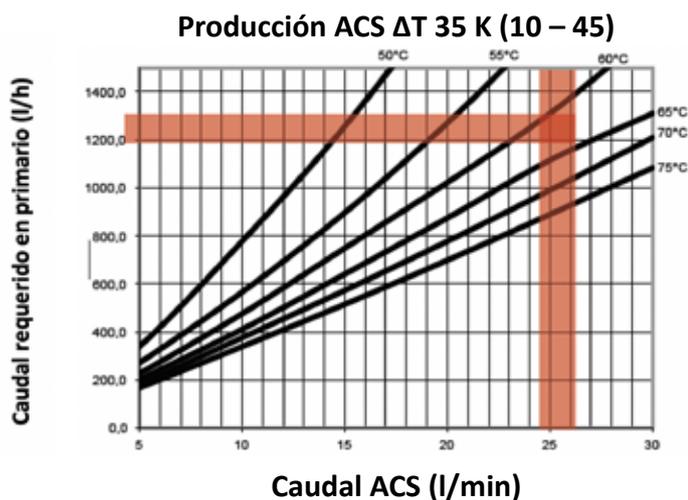


Figura 5.15. Producción de ACS en función de la variación de la temperatura (1).

El caudal máximo requerido desde el circuito primario para suministrar la máxima demanda de ACS sería de 903 l/h. Este caudal entraría en el intercambiador para la producción de 17 l/min a 50° C (dT 40° C).

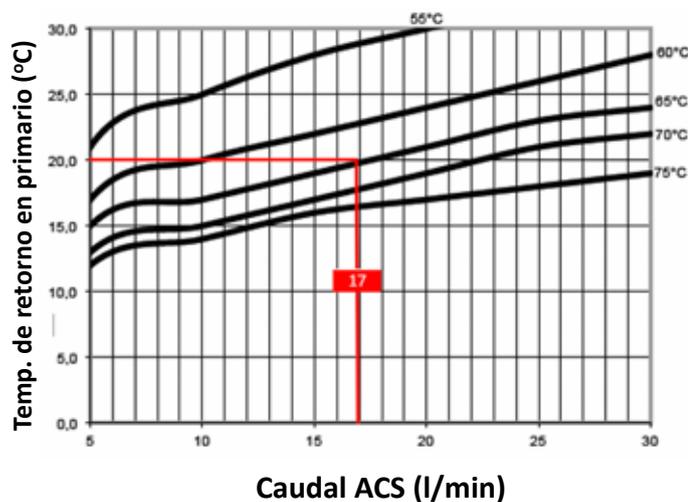


Figura 5.16. Producción de ACS en función de la variación de la temperatura (2).

Durante la producción de ACS, la temperatura de retorno en primario sería de 20° C. Esta temperatura solo será a considerar durante la producción de ACS, el sistema de calefacción no se ha tenido en cuenta para este cálculo.

Para este ejemplo, tenemos que los valores límite de cálculo en la estación serían:

Caudales:

- ACS: 17 l/min
- Primario: 903 l/min

Temperaturas:

- Temperatura ACS: 50° C (ΔT 40° C)
- Temperatura impulsión en primario: 65° C

Pérdidas de presión:

- Lado del primario: 0,41 bar
- Lado circuito AFS-ACS: 0,8 bar

Dimensionado de las tuberías de distribución:

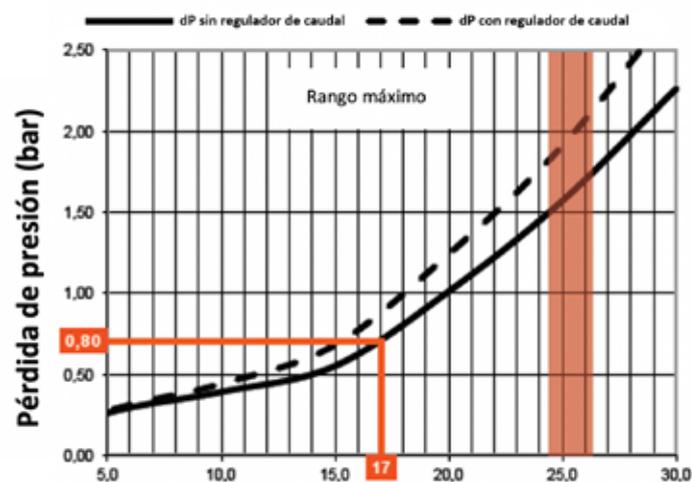
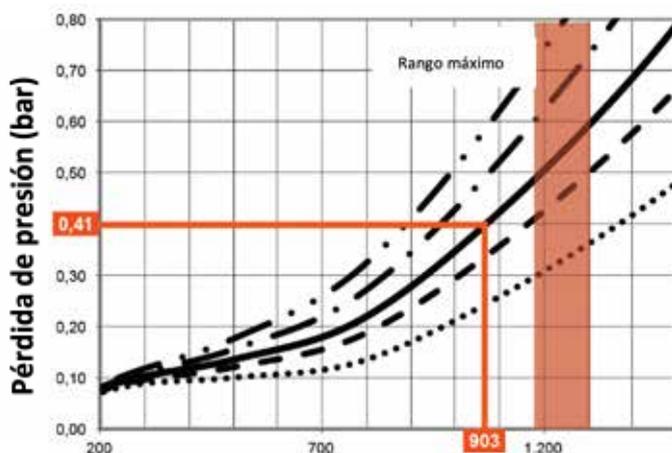


Figura 5.17. Pérdida de presión respecto a caudal requerido y circuito AFS/ACS.

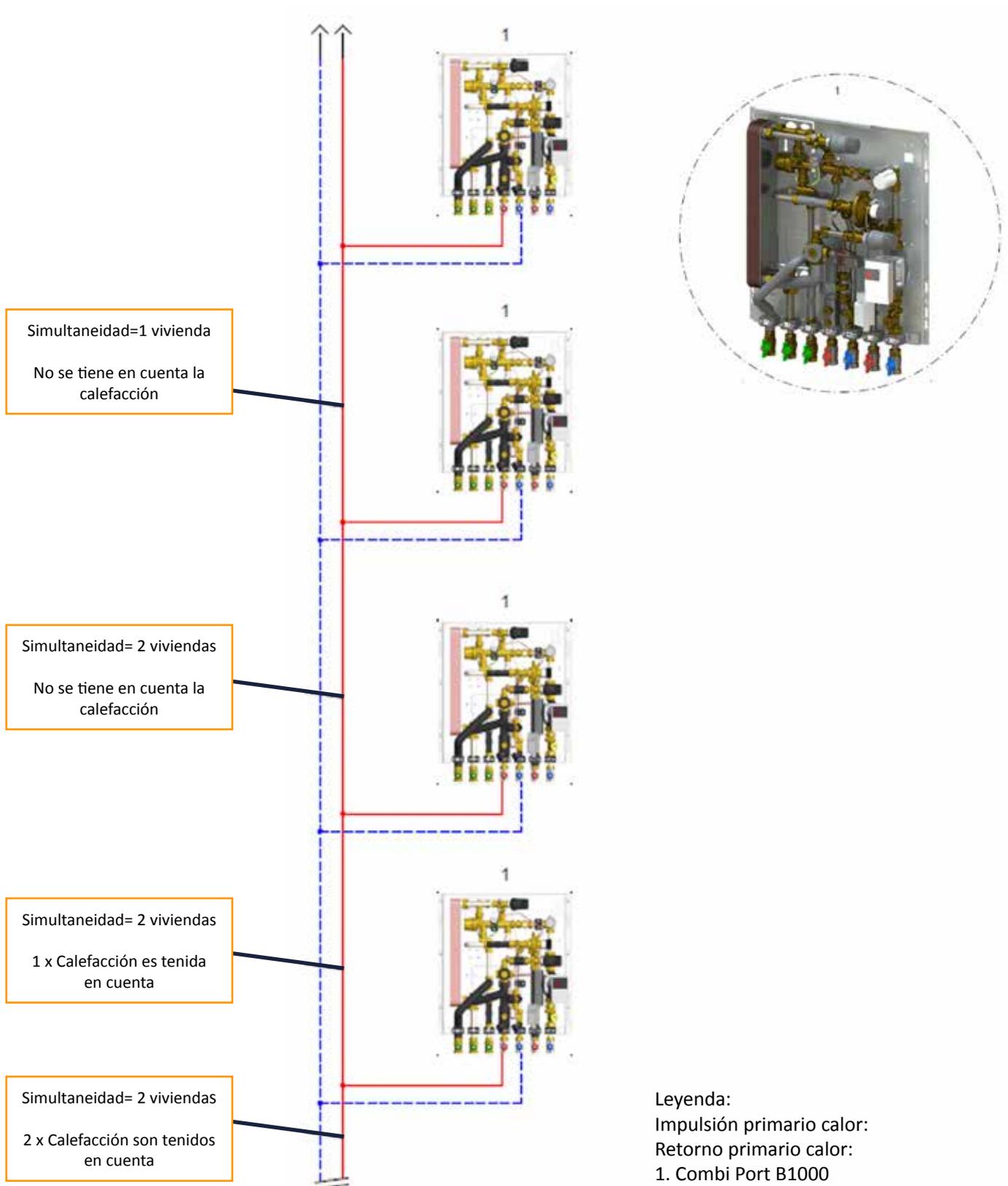


Figura 5.18. Comparativa de simultaneidad. Fuente: Uponor.

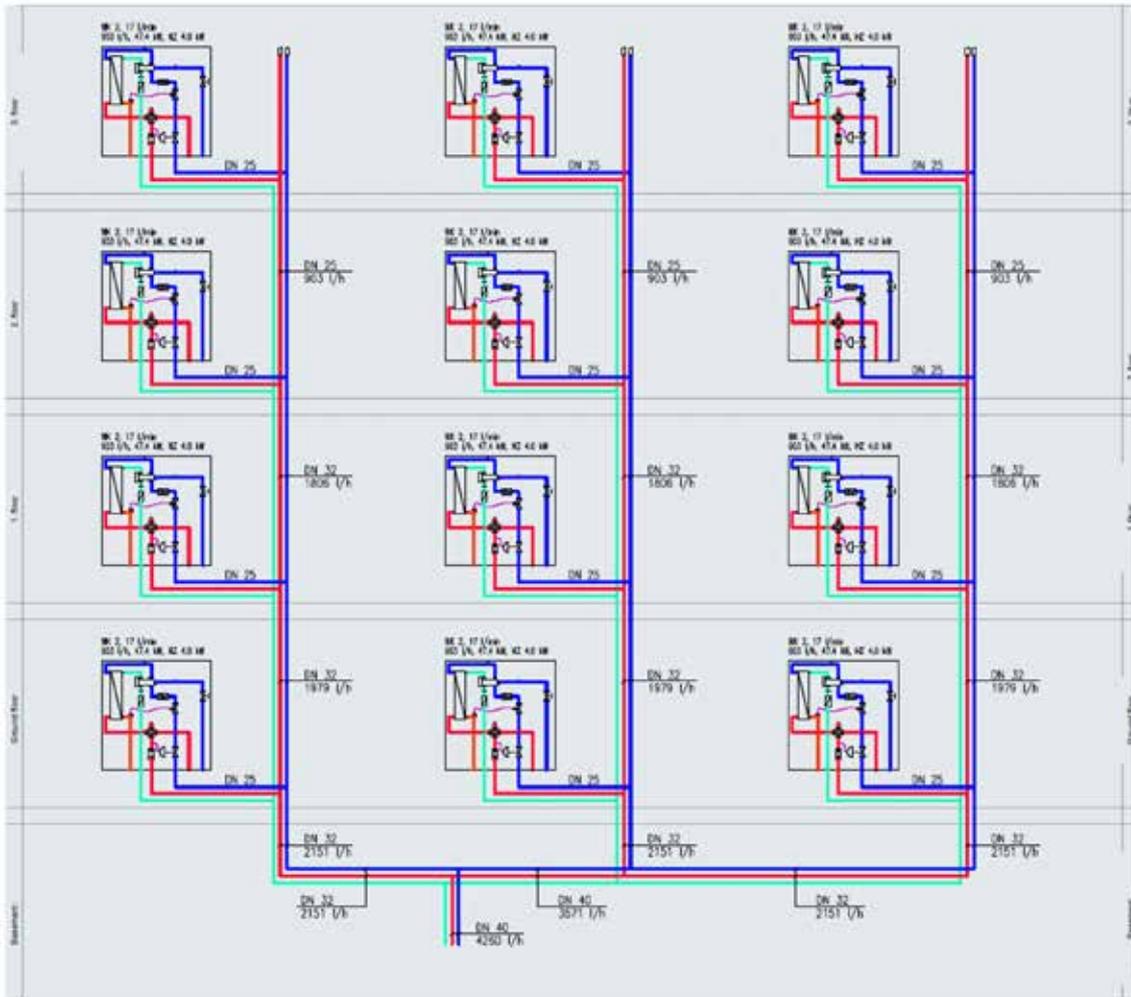


Figura 5.19. Esquema de instalación. Fuente: Uponor.

Cálculo conforme al estudio de simultaneidad (TUD):

- A. Tubería distribución 1: 4 estaciones = 2 estaciones simultaneas para producción ACS.
- B. Tubería distribución 2: 4 estaciones = 2 estaciones simultaneas para producción ACS.
- C. Tubería distribución 3: 4 estaciones = 2 estaciones simultaneas para producción ACS.

Cálculo del caudal necesario para el sistema de calefacción:

$$5 \text{ kW y } 20^\circ \text{ C } \Delta T = 220 \text{ l/h}$$

Simultaneidad 1 para el sistema de calefacción= 880 l/h por línea de distribución.

Tubería principal:

12 estaciones con 3 unidades para máxima producción de ACS y 12 en suministro de calefacción.

Tabla 5.4. Características según coeficientes de simultaneidad.

Tipo de intercambiador	Nº estacion	Simultaneidad ACS	Simultaneidad calefacción	Caludal requerido producción ACS	Potencia Calefacc.	Caudal sistema Calefacc.	DN	R • l	v	Pérdida de presión
				[l/h]	[kW]	[l/h]		[Pa]	[m/s]	[Pa]
Montante no. 1										
WK 2, 17 l/min, 903 l/h, 47.4 kW, CAL 5.0 kW	1	1	1	903	5	220	25	97 • 6.0 = 582	0.43	675
WK 2, 17 l/min, 903 l/h, 47.4 kW, CAL 5.0 kW	2	2	2	1806	10	440	32	88 • 6.0 = 528	0.5	651
WK 2, 17 l/min, 903 l/h, 47.4 kW, CAL 5.0 kW	3	2	3	1806	15	660	32	104 • 6.0 = 624	0.54	771
WK 2, 17 l/min, 903 l/h, 47.4 kW, CAL 5.0 kW	4	2	4	1806	20	880	32	122 • 6.0 = 732	0.59	906
Total										3003
Montante no. 2										
WK 2, 17 l/min, 903 l/h, 47.4 kW, CAL 5.0 kW	1	1	1	903	5	220	25	97 • 6.0 = 582	0.43	675
WK 2, 17 l/min, 903 l/h, 47.4 kW, CAL 5.0 kW	2	2	2	1806	10	440	32	88 • 6.0 = 528	0.5	651
WK 2, 17 l/min, 903 l/h, 47.4 kW, CAL 5.0 kW	3	2	3	1806	15	660	32	104 • 6.0 = 624	0.54	771
WK 2, 17 l/min, 903 l/h, 47.4 kW, CAL 5.0 kW	4	2	4	1806	20	880	32	122 • 6.0 = 732	0.59	906
Total										3003
Montante no. 3										
WK 2, 17 l/min, 903 l/h, 47.4 kW, CAL 5.0 kW	1	1	1	903	5	220	25	97 • 6.0 = 582	0.43	675
WK 2, 17 l/min, 903 l/h, 47.4 kW, CAL 5.0 kW	2	2	2	1806	10	440	32	88 • 6.0 = 528	0.5	651
WK 2, 17 l/min, 903 l/h, 47.4 kW, CAL 5.0 kW	3	2	3	1806	15	660	32	104 • 6.0 = 624	0.54	771
WK 2, 17 l/min, 903 l/h, 47.4 kW, CAL 5.0 kW	4	2	4	1806	20	880	32	122 • 6.0 = 732	0.59	906
Total										3003
General Izquierda										
Montante Izq.	4	2	4	1806	20	880	32	233 • 20 = 4660	0.43	4660
Total										7663
Generales derecha										
Montante Derecha 1.	4	2	4	1806	20	880	32	233 • 20 = 4660	0.43	4660
Montante Derecha 2.	8	3	4	2709	20	880	40	141 • 20 = 2820	0.43	2820
Total										10483
Montante general										
Tubería general	12	3	2710	36	2640	40		288 • 6.0 = 1728	0.86	1728
Perdida de presión [Pa]										12211
Caudal total [l/h]										5350

3. Cálculo de la pérdida de presión y caudal total de la instalación.

Tabla 5.5. Desglose de pérdidas de presión.

Pérdida de presión	[bar]	[Pa]
Estación (sin contador de energía)	0.28	28405
Válvula equilibrado (kvs=3.5)	0.07	6660
Válvula de zona (kvs=3.5)	0.07	6660
Pérdida presión general	0.42	41725
Red de tuberías		
Circuito más crítico	0.12	12212
Margen de seguridad	0.15	15120
Pérdida de presión general sin contador		56846
Contador de energía Qn 1.5	0.57	5000
Pérdida de presión total	0.05	61846
Selección bomba de impulsión		
Caudal total [l/h]	5350	
Perdida de presión [bar]	0.62	

Las tuberías han sido dimensionadas con valores de cálculo Uponor PEX-a.

4. Cálculo del volumen de inercia.

Con el objetivo de garantizar un suministro continuo del caudal necesario para cubrir los picos de máximo consumo de ACS simultáneo, se recomienda la instalación de un depósito de inercia. Este depósito presenta, además, numerosas ventajas de la instalación, como reducir el número de arrancadas y paradas del generador de calor, separar hidráulicamente el sistema y acumular energía para ajustar la potencia del generador de energía.

Esta inercia se puede combinar con la energía solar térmica, así como también se puede considerar el volumen que queda acumulado en toda la red de tuberías montantes.

Los volúmenes recomendados de inercia dependerán del número de viviendas y de la potencia demandada:

Tabla 5.6. Volúmenes recomendados de inercia

V [l/h]	Volumen depósito inercia [l]	
	Generador: caldera	dp max 400 [mbar]
2000	500	250
3000	750	222
4000	750	403
5000	1000	250
6000	1000	360
7000	1500	191
8000	1500	250
9000	1500	316
10000	1500	391
11000	2000	194
12000	2000	230
13000	2250	270
14000	2250	314
15000	3000	360
16000	3000	2 x 250
17000	3000	2 x 282
18000	3000	2 x 316
19000	3000	2 x 353
20000	3000	2 x 391

Para este ejemplo de cálculo, el volumen recomendado es de 750 litros. Según la existencia de energía solar térmica, así como del volumen acumulado en las tuberías montantes, este volumen recomendado podría reducirse.

4 CONCLUSIONES

Según el informe “Análisis del consumo energético del sector residencial en España” Proyecto SECH-SPAHOUSEC, en la zona climática de Madrid, el 72,7% del consumo de energía realizado en los hogares se destina a la producción de calefacción (55,3%) y generación de ACS (17,4%). Esto supone que cualquier mejora tanto en evitar pérdidas térmicas como para mejorar el rendimiento de las instalaciones de calefacción y ACS tendrá un gran impacto en la factura energética de los hogares.

Los actuales sistemas centralizados con contabilización individual para el suministro de calefacción y ACS suponen una importante mejora en la eficiencia energética. Como hemos visto, dentro de estos sistemas centralizados, los sistemas con distribución a 2 tubos con estaciones de transferencia reducen las pérdidas energéticas en distribución y consiguen un ahorro adicional de hasta el 10%, siendo totalmente compatibles con un aporte solar pleno tanto para calefacción como para ACS, simplificando la sala de caldera y aportando al usuario final una eficiencia central pero con un confort totalmente individual mediante su propia estación, lo que le aporta calefacción y ACS a demanda en cualquier momento y en las mejores condiciones de higiene y eficiencia.

■ CAPÍTULO 6

EMISORES TÉRMICOS —



6.1 RADIADORES

6.1.1 Introducción. Tendencias y necesidades de mercado

Todos los actores del mercado, autoridades, fabricantes, instaladores, usuarios, etc., marcan unas claras tendencias:

A. En España, recientemente, la Comisión de Transición Ecológica y Reto Demográfico se aprobó el **Proyecto de Ley de cambio climático y transición energética**.

Esta norma establece varias medidas, entre las que se encuentran **como objetivos mínimos nacionales para el año 2030**:

- La **reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero** en, al menos, un **23% respecto del año 1990**.
- **Energías de origen renovable** de, como mínimo, un **42%**.
- **Sistema eléctrico** con un **74%** de generación con **energías renovables**.
- Mejorar la eficiencia energética, **disminuyendo el consumo de energía primaria** en un **39,5%** con respecto a la línea de base conforme a normativa comunitaria.

De igual modo, antes de 2050 y en todo caso, en el más corto plazo posible, España deberá alcanzar la neutralidad climática y el sistema eléctrico deberá estar basado, exclusivamente, en fuentes de generación de origen renovable.

B. Concienciación de la sociedad. No sólo por la reducción del coste económico, sino por la reducción de emisión de partículas contaminantes a la atmósfera. Aquí ha ayudado mucho que desde las Administraciones central y Autonómica haya existido un verdadero esfuerzo tanto normativo como de subvenciones, Planes Renove, etc., para encauzar las instalaciones a una menor emisión de partículas contaminantes.

C. Aumento de las necesidades de confort. Cada día se exigen unos estándares de confort más altos, con un consumo bajo y con un aporte estético importante.

Por todo esto, se ha creado una nueva necesidad en el sector: trabajar en instalaciones de baja temperatura, tanto por ahorro de combustible como por confort, adaptando los componentes de la instalación, tanto la propia instalación (emisores dimensionados), como los generadores de calor/frío para las nuevas condiciones de trabajo.

6.1.2 Método de cálculo para el dimensionado de los emisores.

La demanda térmica de una instalación debe ser cubierta por los emisores, debiéndose cumplir:

$$P_{tot} = Q_{tot} c \Delta T_{tot}$$

Donde:

P_{tot} es la potencia total en kcal/h de calefacción que debe suministrar el circuito.

Q_{tot} es el caudal de agua en l/h que circula por el circuito.

c es el calor específico 0,99795 cal/g del agua.

ΔT_{tot} es el salto térmico del agua entre la salida y entrada de la caldera.

En cada estancia, por tanto, cada emisor debe cumplir:

$$P_i = Q_i c \Delta T_i$$

Donde:

P_i es la potencia de calefacción que debe suministrar el emisor i .

ΔT_i es el salto térmico del agua entre la salida y entrada del emisor i .

En consecuencia, se puede calcular el salto térmico en la instalación e , incluso, en cada emisor, que vendrá dado por:

$$\Delta T_i = \Delta T_{tot} (Q_i / Q_{tot})$$

La temperatura del agua a la salida de cada emisor vendrá dada por la ecuación:

$$T_{i,s} = T_{i,e} - \Delta T_i$$

Donde:

$T_{i,s}$ es la temperatura del agua a la salida del emisor i .

$T_{i,e}$ es la temperatura del agua a la entrada del emisor i .

Asimismo, la temperatura media del agua en el emisor i vendrá dada por:

$$T_{i,m} = T_{i,e} - \Delta T_i / 2$$

Dado que la emisión de calor en cada uno de los emisores es proporcional a su superficie, ésta vendrá dada por la expresión:

$$S_i = S_{tot} (Q_i / Q_{tot}) \left(\frac{(T_m - T_a)}{(T_{i,m} - T_a)} \right)^b$$

Donde:

S_{tot} es la superficie del emisor i .

T_a es la temperatura del aire ambiente.

$T_m = (T_{s,cal} - T_{r,cal}) / 2$ es la temperatura media del agua del circuito.

$T_{s,cal}$ es la temperatura de suministro de la caldera.

$T_{r,cal}$ es la temperatura de retorno de la caldera.

b es constante de cada modelo de emisor.

Los fabricantes de radiadores suelen proporcionar para cada modelo la potencia en función de la diferencia de temperatura entre el aire ambiente y la media del agua. El área necesaria cuando esta diferencia de temperaturas no coincide con la de cálculo, vendrá dada por:

$$S = S_{cat} (\Delta T_{cat} / \Delta T)^b$$

Donde:

S es la superficie necesaria.

S_{cat} es la superficie que aparece en el catálogo.

ΔT_{cat} es la diferencia de temperatura según catálogo.

ΔT es la diferencia de temperatura nominal de cálculo.

6.1.2.1 Dimensionado de una instalación para baja temperatura

Dimensionar una instalación es cubrir la demanda térmica del recinto que se quiere calefactar desde el punto de vista de los radiadores. Se trata de calcular el número de elementos necesarios para que el conjunto sea igual o ligeramente superior que la carga del recinto.

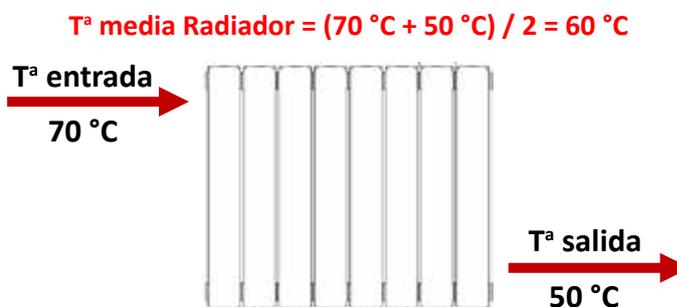
El fabricante proporciona la potencia del emisor por elementos. Puede ser necesario más de un radiador, sobre todo para una correcta distribución del calor.

La energía cedida por el emisor varía según el salto térmico utilizado. Hasta diciembre del 2000, que entró en vigor la

Tabla 6.1 Características y coeficientes de los modelos de radiadores.

EUROPA			450C	600C	700C	800C	
Emisión térmica	UNE EN-442	$\Delta T = 50^\circ C$	W	89,2	119,8	137,1	158,0
			kcal/h	76,7	103,0	117,9	135,8
	UNE EN-442	$\Delta T = 60^\circ C$	W	112,7	152,3	174,3	200,9
			kcal/h	96,9	131,0	149,8	172,8
	Emisión baja temperatura	$\Delta T = 30^\circ C$	W	46,5	61,07	70	80,5
			kcal/h	39,96	52,52	60,20	69,23
Exponente n			1,27784	1,31869	1,31598	1,32052	
Km			0,601947	0,688627	0,796525	0,901564	
Contenido agua		L	0,31	0,39	0,45	0,50	
Peso		kg	1,04	1,34	1,57	1,85	
Dimensiones	A	mm	431	581	681	781	
	B Distancia entre ejes	mm	350	500	600	700	
Conexiones	\varnothing		1"	1"	1"	1"	

norma EN 442, era de $60^\circ C$, de hecho, suele seguir apareciendo en catálogos. A partir de esa fecha, la potencia nominal de los emisores se calculaba a $50^\circ C$. Ahora, con el nuevo RITE, el cálculo hay que hacerlo a $40^\circ C$, e incluso si se desean aprovechar todas las ventajas de los nuevos generadores de baja temperatura, se debería aplicar $30^\circ C$.



ΔT Instalación = ΔT Radiador ($60^\circ C$) – T^a ambiente ($20^\circ C$) = $40^\circ C$

Figura 6.2. Aclaración entre temperatura media de radiador y salto térmico de instalación

6.1.2.2 Rango de temperaturas de trabajo de radiadores

El radiador no tiene ninguna limitación de trabajo en cuanto a temperaturas de entrada y salida, es perfectamente adaptable en instalaciones dimensionadas para trabajar a baja temperatura de calefacción.

Este dimensionamiento es sencillo, ya que todos los fabricantes ofrecen la denominada Ecuación Característica de cada modelo:

Potencia = $K_m \times AT^n$, dando los valores de K_m y n en las tablas de datos técnicos de los propios radiadores.

6.1.2.3 Ejemplo de cálculo de la emisión térmica del radiador

Supongamos una estancia de 20 m² y 2,5 m de altura con unas pérdidas de transmisión de 1,5, ubicada en zona geográfica de -6°C de temperatura mínima exterior. Se tiene una demanda de 1.950 W y se quiere cubrir la demanda con el radiador Europa 600 C.

Antes de RITE, se necesitarían 16,27 elementos y se recomendarían dos baterías de 8 y 9 elementos, respectivamente.

Actualmente, con un salto térmico de 40°C, como en la tabla (antigua) no aparece, se tiene que calcular la potencia del elemento.

En la tabla se tiene el valor de la emisión por elemento para ΔT de 50°C = 119,8 W. Para 40°C, se aplica la fórmula y da un valor de 89,2 W por elemento, por lo que se necesitarían 21,86 elementos, recomendando dos baterías de 11 elementos.

Aproximadamente un 25% más de elementos para cubrir la disminución del salto térmico.

6.1.2.4 Nota sobre la demanda térmica

El mismo año que se modificó el RITE también se modificó el Código Técnico de la Edificación. Más concretamente, las exigencias en aislamientos y cerramientos entre el C.T.E-HE 1 y las NBE-CT 79. Estas exigencias son mucho mayores, tanto que la potencia calorífica a instalar se ha visto reducida en un mínimo del 38,4%.

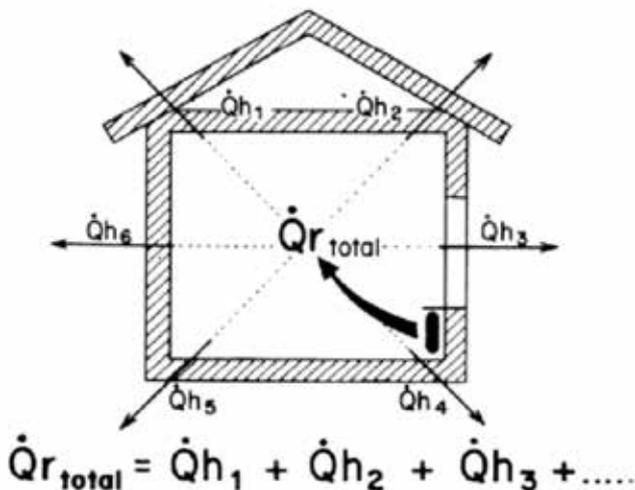


Figura 6.4 Esquema de los flujos de calor de una vivienda.

Esto quiere decir que si se tiene una instalación con una demanda de 1.000 W, haciéndola trabajar con ΔT = 40°C, sólo se suministrarían unos 750 W, teniendo que instalar radiadores para cubrir esta diferencia (25%). Pero con los aislamientos impuestos por el C.T.E., la demanda se reduce hasta los 616 W, por

lo que instalando el número de elementos que estábamos acostumbrados estamos sobredimensionando en torno al 20%.

DIMENSIONAMIENTO CON C.T.E. & NBE-CT 79

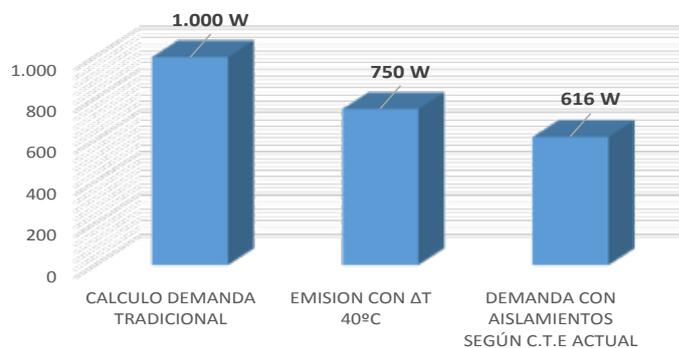


Figura 6.5 Variación del dimensionamiento de equipos según modificaciones del CTE.

Es decir, respecto al número de elementos de radiador acostumbrados a instalar, no solo no se tiene que incrementar el número de elementos por trabajar con las nuevas condiciones marcadas por el RITE para adaptarnos a esas nuevas condiciones de baja temperatura, si no que se podría reducir el número de elementos.

Ejemplo: Vivienda en Madrid de unos 120 m²:

Tabla 6.1. Necesidades de aporte energético en función de la variación de temperatura del foco emisor.

	NECESIDADES NBE CT 79: 10.800 W			NECESIDADES C.T.E.: 6.653 W		
		ALTURA			ALTURA	
TEMP. ALTA	ΔT 50°C	EUROPA 600C	91 elementos			
BAJA TEMP.	ΔT 40°C	EUROPA 600C	121 elementos	ΔT 40°C	EUROPA 600C	121 elementos
BAJA TEMP.	ΔT 40°C	EUROPA 700C	105 elementos			

Coefficientes de transmisión máximos según NBE-CT-79:

Para una fachada exterior, el máximo K era de 1,20 kcal/h m².

Según el CTE-HE1, el coeficiente de transmitancia máxima de cerramientos exteriores:

$$U_{m\acute{a}x} = 0,7396 \text{ kcal/h m}^2$$

$$0,7396 / 1,2 = 0,384 \Rightarrow 38,4 \%$$

6.1.2.5 Conclusión

Trabajar con menos temperatura de distribución hace que las pérdidas por tubería sean menores, aunque esto, en principio, implica más superficie (más elementos) a instalar, pero, sobre todo, la posibilidad de trabajar con saltos térmicos bajos en el lado generador, con su consiguiente incremento de la eficiencia tanto del generador como de la instalación.

Una mejor eficiencia no sólo aporta ventajas económicas, sino que reduce proporcionalmente las emisiones contaminantes a la atmósfera.

El inconveniente es utilizar una mayor superficie radiante, por lo que el coste se incrementa, por el material y la mano de obra, aunque los ahorros en combustible, tanto económicos como de emisiones, compensarán sobradamente esta inversión.

Estamos acostumbrados a identificar las instalaciones de alta temperatura con los radiadores. Esto no es extraño, llevamos haciéndolo desde hace más de 100 años, casi son los únicos que pueden trabajar en estas condiciones, pero esto no quita para que también puedan trabajar en condiciones de impulsión más bajas.

Así, se puede decir que una instalación eficiente es aquella que, garantizando el confort del usuario, trabaja a la mínima temperatura posible. Esto sólo es posible dimensionando correctamente los emisores y gobernando la temperatura de impulsión de la caldera. Como mínimo, se necesita una sonda exterior que informe a la caldera de la temperatura exterior y una centralita de regulación, es decir, un cronotermostato compatible con la caldera.

Las actuales centralitas de regulación no sólo informan de la temperatura de la estancia a climatizar, de la temperatura deseada por el usuario, sino que, además, informan de la temperatura demandada por el usuario a una hora determinada y de cuánto tiempo se tardó en alcanzar las mismas condiciones de confort, pudiendo la caldera actuar en consecuencia, optimizando el consumo de la instalación.

De esta manera, sacaremos todo el provecho a las instalaciones a baja temperatura.

6.1.3 Calor

6.1.3.1 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.

Tabla 6.2 Equivalencias de unidades de energía.

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

El BTU (unidad térmica británica) es una medida para el calor muy usada en Estados Unidos y en muchos otros países de América. Se define como la cantidad de calor que se debe agregar a una libra de agua para aumentar su temperatura en un grado Fahrenheit y equivale a 252 calorías.

6.1.3.2 Potencia calorífica

También llamada flujo térmico, se define como la cantidad de calor que fluye a través de un sistema en la unidad de tiempo. Su unidad de trabajo en el Sistema Internacional es el Julio por segundo (J/s) o, lo que es lo mismo, vatio (W). En calefacción se emplea generalmente la kilocaloría por hora (kcal/h).

6.1.3.3 Formas de transmisión del calor

La transmisión de calor se presenta en tres formas físicas distintas: conducción, convección y radiación. Para producirse dependen de la existencia de un desequilibrio térmico.

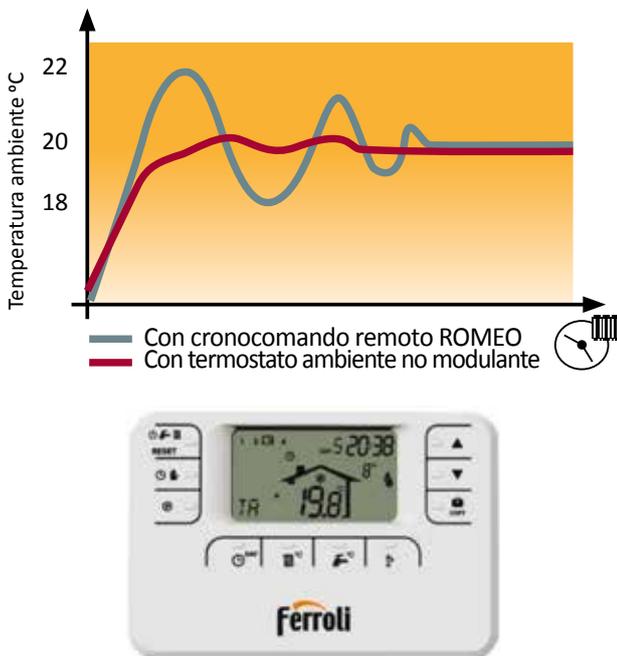


Figura 6.6. Variación de la temperatura interior en función del tiempo. Termostato digital.

La conducción consiste en la transmisión de calor de un cuerpo a otro sin desplazamiento de sus moléculas. Como ejemplo tenemos la transmisión que se produce en una barra metálica por toda su masa al calentarla por un extremo, el calor fluye de la zona más caliente a la más fría.

En la convección se produce una transmisión de calor por desplazamiento de las moléculas. Un típico ejemplo es la transmisión por convección producida al calentar la masa de aire de una habitación, produciéndose una circulación de dicho aire, de forma natural por variación de la densidad o forzada con un ventilador o bomba, con el consiguiente transporte de calor.

La radiación consiste en la transmisión del calor mediante ondas o radiaciones, sin cuerpos en contacto. Mediante la radiación se transmite la energía calorífica entre el Sol y la Tierra.

La transmisión simple, es decir, debida exclusivamente a una de las tres formas, es en la práctica inexistente y se produce siempre en forma simultánea, al menos por la combinación de dos de las formas de transmisión y muy a menudo por las tres.

En la vivienda se dan todos los tipos de transmisión de calor y, dependiendo del emisor escogido, el porcentaje de una u otra será mayor sobre las demás.

6.1.4 Emisores

Emisor es una denominación genérica que abarca todas las unidades terminales de la instalación que emiten o ceden calor a un local: radiadores, toalleros, fan-coils, etc.

Se pueden clasificar de varias maneras, por ejemplo:

- A. Por forma de transmisión del calor.
- B. Por material constructivo.
- C. Por aplicación.

Hablaremos fundamentalmente de los emisores que se calientan por agua, como transmisor del calor, aunque sería perfectamente aplicable a los que lo hacen con fluido refrigerante o incorporan una resistencia eléctrica.

6.1.4.1 Descripción de los diferentes tipos de radiadores

Los radiadores se denominan así porque transmiten el calor mediante convección “natural” a toda la estancia y radiación al aire y a los elementos más próximos. El calor total, por lo tanto, es suma de transmisión por radiación y convección.

Este fenómeno, la radiación, se ve incrementado con el concepto de baja temperatura. Cuanto más baja sea la temperatura media del emisor, proporcionalmente mayor será la energía cedida por radiación.

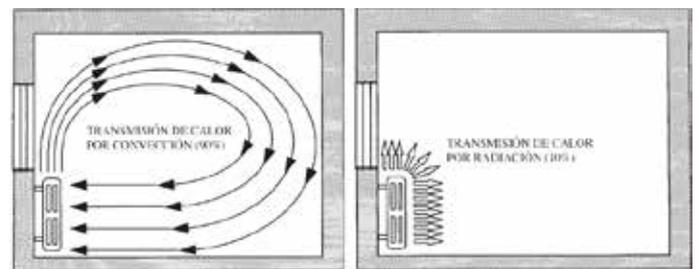
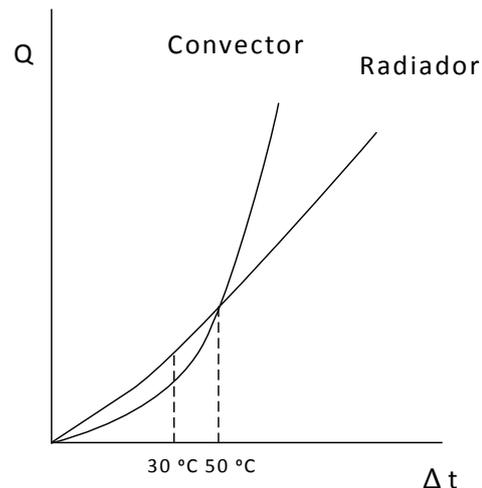


Figura 6.7. Emisión de convectores y radiadores.

Los radiadores más característicos están compuestos por elementos de una altura superior con respecto a la anchura, se unen entre sí, formando baterías de la potencia necesaria para cada caso y se caracterizan por emitir un porcentaje del calor por radiación.

Por necesidades de espacio, también se diseñan modelos denominados bajo ventana, más anchos que altos.

6.1.4.2 Clasificación

La clasificación más habitual es en función del material de fabricación: de hierro fundido, de acero, de aluminio, etc.

En algún caso, también se ha hablado de su clasificación en función de sus condiciones de trabajo, aunque como ya hemos visto y seguiremos viendo, los radiadores pueden trabajar de forma ideal con cualquier condición de temperaturas de ida y retorno.

Veremos eso sí, algunos emisores muy específicos para algunas condiciones de trabajo.

6.1.4.2.1 Radiadores de aluminio

Son con mucha diferencia el sistema más usado para los sistemas de calefacción en España.

Son ligeros, posiblemente los más ecológicos, una vez finalizada su vida útil son 100% reciclables y, aunque trabajan esencialmente por convección, tienen una parte importante

por radiación, potenciada cuando trabajamos a baja temperatura. Quizá sean los más usados debido a la combinación de emisividad, versatilidad, peso e inercia térmica. Son resistentes al agua y debe vigilarse el contenido en sales de ésta, como en el resto de los emisores, sobre todo en el primer llenado.

Se fabrican por elementos, cada uno con estética y medidas diferentes, pudiéndose unir los elementos iguales para formar las baterías. La unión entre elementos puede hacerse con junta de cartón o elástica, siendo ésta última especialmente recomendable para reducir la evaporación del agua y dar flexibilidad al conjunto.

El aluminio se ha popularizado para la fabricación de radiadores principalmente por la versatilidad en el proceso de fabricación, permitiendo una gran variedad de modelos que son aptos para combinar con el gusto particular.

El montaje de una fábrica de radiadores de aluminio es mucho más versátil que el de una de radiadores de acero o hierro fundido, con un manejo de la materia prima más sencillo y más empresas en condiciones de fabricarlos, especialmente en países no productores de acero, fomentando la competencia entre ellas.

El aluminio presenta muy buena resistencia a la corrosión en instalaciones bien ejecutadas (calidad del agua), con una muy buena estética, variedad de modelos y terminación en el caso de marcas de primera línea. El proceso de pintura es muy costoso si se quiere lograr un resultado óptimo.

Fáciles de almacenar, ya que, al estar formados por módulos unidos por niples, se puede modificar el tamaño fácilmente adaptando el stock a las necesidades.

Reducción importante del peso en comparación, sobre todo, con el hierro, haciendo que el coste por transporte e instalación sea muy inferior.



Figura 6.8. Radiador de aluminio tipo Europa C (Ferrol) y características y coeficientes de los modelos de radiadores.

Tabla 6.3 Características del emisor de aluminio.

EUROPA	450 C	600 C	700 C	800 C
Emisión $\Delta t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (W)	89,2	119,8	137,1	158,0
	$\Delta t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$	112,7	152,3	174,3
Exponente n	1,27784	1,31869	1,31598	1,32052
K_m	0,601947	0,688627	0,796525	0,901564
Contenido agua (l)	0,31	0,39	0,45	0,50
Peso (kg)	1,04	1,34	1,57	1,85
Altura(mm)	431	581	681	781
Distancia ejes (mm)	350	500	600	700
Conexiones Ø	1"	1"	1"	1"

Ecuación característica de cada modelo: $Q = K_m \Delta T^n$

6.1.4.2.2 Radiadores de hierro fundido

Su material constructivo es el hierro fundido, el material más clásico para la construcción de radiadores, aunque cada día se usa menos.

Son sólidos y duraderos, muy resistentes a la corrosión, con una proporción alta de calor por radiación y una elevada inercia térmica, tardan más tiempo en enfriarse que en calentarse. Son decorativos y proporcionan a la estancia un aire clásico.

Admite errores en la instalación, es apto para instalaciones de vapor a baja presión y, al ser muy resistente mecánicamente, es especialmente indicado para el uso en hospitales, escuelas y cualquier lugar de elevado tránsito donde pueda sufrir golpes.

Son más pesados, por lo que se debe considerar: la capacidad de la pared donde se ubicarán, no son aptos en paredes de baja resistencia; el mayor coste de instalación, los movimientos en obra requieren más personal y medios; el coste de transporte es mayor y tienen menos capacidad de emisión térmica. Los tubos se disponen en bloques de columnas con un número generalmente constituido por 2, 3 o 4 columnas, constituyendo cada bloque transversal un elemento. El fabricante proporciona la emisión por elemento. Los elementos se superponen de forma que la emisión total coincida con las necesidades térmicas del local.



Tabla 6.4 Es la altura total, B es la altura entre ejes del tubo de entrada y de salida, C es el ancho lateral y D es la amplitud de un elemento. El diámetro de conexión es de 1". Va es el contenido en agua.

Tipo	Dimensiones (mm)				Va (l)	Peso (kg)	Emisión (W)		Km	n
	A	B	C	D			ΔT = 50°C	ΔT = 60°C		
2/562	562	500	67	60	0,55	3,33	58,7	74,0	0,40667	1,271
2/685	685	623	67	60	0,67	3,97	71,2	90,2	0,44907	1,295
2/875	875	813	67	60	0,73	4,87	90,3	114,4	0,51231	1,296
3/400	402	340	105	60	0,57	3,85	60,7	76,8	0,38736	1,292
3/562	562	500	96,5	60	0,68	4,39	77,7	98,5	0,48246	1,299
3/685	685	623	96,5	60	0,80	5,30	92,0	116,6	0,56902	1,300
3/875	875	813	96,5	60	0,96	6,80	113,0	143,2	0,69618	1,301
4/685	685	623	130,5	60	1,01	6,81	115,6	147,1	0,65860	1,321
4/875	875	813	130,5	60	1,22	8,62	143,7	184,2	0,69464	1,363

Figura 6.9 Radiador de hierro fundido tipo TAHITÍ (Ferrolí).

La ecuación característica es: $Q = K_m \Delta t_n$

6.1.4.2.3 Radiadores de acero

Más conocidos como paneles de chapa, se fabrican con una chapa de acero estampada de poco grosor. Resultan mucho más ligeros que los de fundición, con la consiguiente menor inercia térmica. Son más propensos a la corrosión y tienen una durabilidad menor.

Entre los paneles de chapa de acero, se instalan difusores de uno o dos pasos de aire para incrementar la transmisión de calor por convección y, recubriendo el conjunto, una chapa con el único propósito de mejorar la estética del radiador.

Es la evolución lógica en los países que históricamente usaban radiadores de hierro fundido y que son productores de acero. Es el material más usado en los países con mayor cultura de calefacción, como, por ejemplo, Inglaterra, Irlanda, Suecia, Dinamarca, Alemania, Bélgica, Suiza, Francia y la mayor parte de Italia. Actualmente son de una estética y terminación muy correcta, y los avances en las pinturas epoxi horneadas garantizan una alta protección contra la corrosión exterior.

Tienen un menor coste por caloría, son fáciles de montar debido a su bajo peso y al sistema de uniones utilizado, no suelen usar reducciones y las válvulas se fijan directamente al radiador. Buena resistencia a la corrosión, con unas estéticas muy versátiles (en la fabricación), de fácil almacenaje y transporte, es difícil que se rompan en caso de congelamiento y, si esto sucediera, serían reparables.

Como desventajas, se puede destacar que no son aptos para instalaciones de vapor y al no trabajar por elementos, el almacenaje es complicado, ya que se deben tener más modelos en depósito y hay menos diseños disponibles.

Tabla 6.5 Características del emisor de acero.

Altura (mm)	Long. (mm)	Emisión (W) ΔT = 50°C
300	400	320
300	500	400
300	600	480
300	700	560
300	800	640
300	900	720
300	1.000	800
300	1.100	880
300	1.200	960
300	1.300	1.040
300	1.400	1.120
300	1.500	1.200
300	1.600	1.280
300	1.800	1.440

Exponente $n = 1,30076$. $k_m = 0,191239$



Figura 6.10 Panel de chapa de acero tipo "PK y PKKP" (Ferrolí), características de algunos modelos tipo "PKKP", 22 300.

6.1.4.2.4 Comparativa entre materiales

Desde el punto de vista técnico, el aluminio aporta la mejor combinación emisión/peso/superficie ocupada, aunque también se debe tener en cuenta el resto de necesidades,

como, por ejemplo, las preferencias estéticas a la hora de seleccionar el material adecuado.

A continuación, en la tabala, se reflejan los diferentes valores térmicos para cada uno de los materiales más frecuentes:

Tabla 6.6 Comparativa entre materiales.

Material	Familia	Modelo	mm			kg	litros	W	W/l	W/m ²	W/m ³	W/kg
			Alto	Ancho	Fondo	Peso	Volumen agua	Emisión a 50C	Emisión litros	Emisión superficie	Emisión volumen	Emisión peso
Hierro Fundido	Tahiti	3/562	562	600	96,5	43,9	0,68	777	1.142,6	2.304,3	23.878,5	17,7
Hierro Fundido	Tahiti	4/685	685	600	130,3	68,1	1,01	1.156	1.144,6	2.812,7	21.586,0	17,0
Aluminio	Europa C	' 10 x 600	581	800	100	13,4	3,9	1.198	307,2	2.577,5	25.774,5	89,4
Aluminio	Xian	' 10 x 600	581	800	100	13,6	3,9	1.229	315,1	2.644,1	26.441,5	90,4
Acero	New Flash	PLS 1100	600	1100	55	21,45	4,18	1.129	270,1	1.710,6	31.101,9	52,6
Acero	New Flash	PLPS	600	800	85,5	25,52	5,68	1.123	197,7	2.339,6	27.363,5	44,0

6.1.4.2.5 Toalleros

Aun siendo normalmente construidos con tubos de acero (y, por lo tanto, pudiéndose clasificar dentro de los radiadores de acero o de chapa de acero), es un emisor un tanto particular, tanto por su forma, siempre fabricado en tubos o barras (aunque en muchos casos existen radiadores de diseño de múltiples formas y colores), como por su aplicación, ya que es un emisor dirigido a instalarse en cuartos de baño, que necesitan poca emisión térmica, alta resistencia a la corrosión y mucha superficie de emisión, aprovechándose para secar las toallas.

Se trata de dos tubos verticales y varios horizontales, redondos o con sección elíptica para incrementar la superficie de contacto con el ambiente.

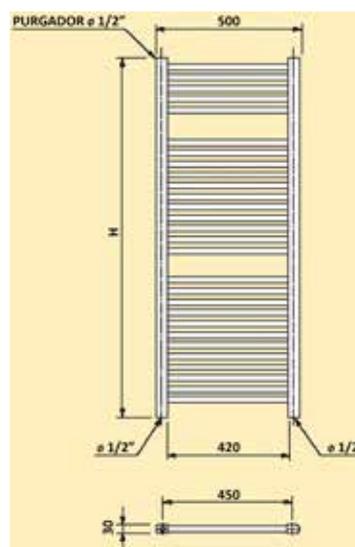


Figura 6.11 Toallero calefactor TALIA (Ferrol), acabado en blanco o cromado.

Tabla 6.7 Características del toallero calefactor.

TALIA WF			500 x 700	500 x 800	500 x 1.000	500 x 1.200	500 x 1.500	500 x 1.800	
Emisión térmica	UNE EN-442	Δt = 50 °C	W	235,7	279,8	334,5	391,9	504,1	602,9
			kcal/h	202,7	240,6	287,7	337,0	433,5	518,5
Exponente n			1,26797	1,27479	1,27449	1,27042	1,27496	1,27022	
Km			1,65242	1,90985	2,28597	2,72103	3,43864	4,18957	
Peso		kg	3,4	4	4,8	5,6	7,2	8,6	
Dimensiones		Ancho	mm	500	500	500	500	500	500
		alto (H)	mm	660	770	960	1.170	1.460	1.760
Número de tubos			10	12	14	16	21	25	

6.1.4.2.6 Otros tipos de emisores

También existen otros emisores diferentes en cuanto a su configuración, ya que son fabricados principalmente como si fuesen una batería aleteada.

Los emisores de tubos con aletas son tuberías dotadas de aletas que incrementan la superficie emisora, situadas

transversalmente sobre el tubo de forma muy compacta. Su colocación puede ser de diversos tipos y, según su ubicación (de pared, techo o suelo), la envolvente adopta diferentes formas. Es importante considerar el número de aletas por unidad de longitud de tubo, siendo ésta una característica determinante del emisor. Normalmente, disponen de ventiladores axiales o tangenciales, que potencian la convección del emisor.



Figura 6.12. Emisores de tubo de aletas Emisor Varese Ferrolí, disponible con/sin ventiladores.

Tabla 6.8 Características de emisores de tubo de aletas

VARESE LP HE	Ud.	500 HE	600 HE	800 HE	1000 HE	LP 500 HE	LP 600 HE	LP 800 HE	LP 1000 HE	
Potencia Caloríf. 55/45/20 °C	Modo Eco	W	447	604	879	1.138	369,8	576,5	842	1.050,3
	Modo Confort	W	498,6	651	940	228,6	4.011	617,5	915,6	1.131,6
	Modo Boost	W	569,6	767,2	1.112,6	1.517	484	710	1.087,3	1.493,3
Potencia Caloríf. Max 75/65/20 °C		W	1.067,4	1.402,3	1.981,4	2.637,2	997,7	1.325,6	1.855,8	2.581,4
Potencia Caloríf. Max 70/50/20 °C		W	82,3	1.074,4	1.479,10	1.995,3	753,5	1.032,6	1.395,3	1.939,5
Contenido de agua		L	0,48	0,62	0,835	1.095	0,48	0,62	0,835	1.095
Conexiones hidráulicas	-	1/2" hembra								
Presión máxima		bar	10							
Nº ventiladores	Ud	3	4	6	8	3	4	6	8	
Tipo ventiladores	-	Brushless DC conmutado electrónicamente								
Presión sonora (confort)		dB	29	30,2	32	33,2	29	30,2	32	33,2
Consumo eléctrico máx.		W	35	5	8	10,5	3,5	5	8	10,5

6.1.4.2.7 Los termo ventiladores o fan-coils

Son emisores de tubos con aletas que funcionan haciendo pasar una corriente de aire, mediante un ventilador, sobre una batería de tubos por los que circula el agua (o refrigerante). El conjunto está contenido en una envoltura que permite la canalización del aire. Puede estar provisto de un filtro para eliminar las impurezas del aire, de una rejilla para orientar la salida del aire impulsado y de una bandeja de condensados conducible para su uso en frío.

La regulación se lleva a cabo mediante una válvula que estrangula el paso de fluido y/o un control de velocidad de aire con el ventilador.

Tiene la ventaja de poder trabajar con bajas temperaturas y poder utilizarlo tanto para calentar como para enfriar el ambiente. En algunos casos incorporan dos baterías calor/frío para una mayor precisión en la temperatura del aire impulsado y poder trabajar con generadores independientes de calor y/o frío.

Los inconvenientes que pueden plantear son que, al incorporar ventiladores con presión de aire, producen ruido, el espacio ocupado y que la climatización se realiza con movimiento impuesto del aire, lo que influye en la sensación térmica y reseca el ambiente, además de incrementar el consumo eléctrico de la instalación.

6.1.4.2.8 Aerotermos

Cuando se simplifica el sistema y la estética no resulte muy importante, se pueden utilizar los aerotermos, idóneos para el calentamiento de naves industriales. Se trata de una batería de tubos de cobre con aletas y un ventilador situado detrás que impulsa el aire sobre la misma; éste sale, a través de unas persianas, por su parte frontal. Permiten una emisión de potencia calorífica alta y este hecho, junto al nivel alto de ruido provocado por el ventilador, desaconseja su uso en instalaciones domésticas.

6.1.4.2.9 Emisores específicos de baja temperatura

En este apartado se abordarán los nuevos emisores que están apareciendo en el mercado con esta denominación, sobre todo, porque, como ya se ha comentado, todos los radiadores están diseñados para trabajar de forma ideal en cualquier condición de trabajo en función de las temperaturas de ida-retorno.

Hay que aclarar que son emisores dimensionados para trabajar con baja temperatura de impulsión. El comportamiento de este tipo de emisores es igual al de otros emisores, pero merecen una mención especial dada su incidencia cada vez mayor en el mercado.

Suelen trabajar con una temperatura de ida de 55°C y una de retorno de 45°C, con un salto térmico de 30°C (contra ambien-

te), por lo que es evidente que estos radiadores proporcionan una potencia emitida menor que los de alta temperatura a igualdad de superficie emisora. Sin embargo, hay que tener presente que la aplicación de normativas cada vez más estrictas en el tema del aislamiento conducen a disminuciones significativas de la potencia calorífica instalada, además de aprovechar mucho mejor la energía producida por generadores de baja temperatura, calderas de condensación y bombas de calor (aerotermia, geotermia, etc.).

Trabajar con radiadores en condiciones de baja temperatura permite aunar las ventajas de ambos conceptos:

- A. Mejor sensación de confort, al evitar corrientes de aire y mejorando la sensación térmica.
- B. Instalaciones adaptadas a generadores de baja temperatura, además de conseguir un máximo aprovechamiento tanto en baja temperatura como condensación, con rendimientos superiores al 100% sobre el P.C.I.
- C. Baja inercia térmica, lo que genera menores consumos y mayor confort, ya que se adaptan de forma mucho más rápida y precisa a los cambios de temperatura en el interior de la vivienda, por ejemplo, por mayor presencia de gente o por radiación solar, lo que lo hace un sistema ideal para instalaciones con buenas orientaciones, aportaciones gratuitas (grandes ventanales), además de segundas residencias o viviendas de fin de semana donde es necesaria una rápida respuesta.
- D. Se reducen las pérdidas por transporte hasta los emisores.

6.1.4.3 Instalación, uso y mantenimiento

En su instalación se debe disponer de varios accesorios necesarios para un correcto funcionamiento:

- A. Una válvula de regulación de caudal que permita el correcto equilibrado hidráulico de la instalación.
- B. El detentor, que será regulado por el instalador.
- C. Otra válvula (mejor si es termostática ya que se regulará en función de la temperatura alcanzada en el local), regulable por el usuario. Estas llaves pueden ser un componente de ahorro energético. Las llaves pueden ser rectas o de escuadra, según cómo se coloquen en la instalación. De la misma manera, se pueden utilizar cabezales termostáticos, actuadores electrotérmicos comandados por termostatos o centralitas de regulación.
- D. Un purgador (mejor si es automático), para poder sacar el aire del interior, y un tapón.
- E. Reducciones. El radiador suele venir roscado a 1" para admitir caudales muy grandes de agua, mientras que los accesorios pueden venir a 3/8" o a 1/2".



Figura 6.13 Ejemplos de: Reducción, Detentor, Purgador y Válvula de reglaje.

Los radiadores, para fomentar su emisión, deben instalarse de manera que se garanticen unas distancias mínimas:

- A.** Del suelo: 12 cm
- B.** De la pared: 2÷5 cm
- C.** De la hornacina o de la repisa: 10 cm

En el caso de que la pared no esté suficientemente aislada, se recomienda poner un aislamiento suplementario con el fin de limitar al máximo las fugas de calor al exterior.

También se recomienda verificar las características del agua. No todas las aguas son válidas, en algunos casos, será necesario su tratamiento, sobre todo del valor del pH, que debe estar entre 7 y 8. Además, el agua no debe tener características corrosivas que dañen a los metales para garantizar una larga vida del radiador.

Durante el uso de los radiadores, hay que recordar que:

- A.** Para la limpieza de las superficies no usar productos abrasivos que podrían dañar la pintura.
- B.** No aislar el radiador completamente de la instalación, salvo que esté equipado con una purga automática o vaso de expansión.

- C.** No aislar la instalación completa, en el caso de instalaciones centralizadas, si no existen elementos de seguridad.

El aluminio, en contacto con el agua, se oxida, desprendiéndose gas. Este gas incrementa la presión de la instalación y puede romper el radiador desde dentro. El vaso de expansión que se utiliza en calefacción suele ser suficiente, pero si lo independizamos de los emisores, el riesgo es elevado.

6.1.4.4 Ubicación de los radiadores

Para poder aprovechar todo su potencial, la instalación ideal es bajo ventana, evitando el efecto pared fría. Al tener mayor salto térmico, se pueden obtener ahorros de energía de hasta un 5%, ganancias de hasta 0,5°C en temperatura ambiente y mayor confort debido a una mejor distribución de la temperatura.

Muy importante resaltar que el uso de válvulas termostáticas en cada radiador permite ahorros de hasta un 15% debido al control de la temperatura por estancia de forma individual y constante (de obligado cumplimiento su instalación según R.I.T.E, ITE 1.2.4.3.2).

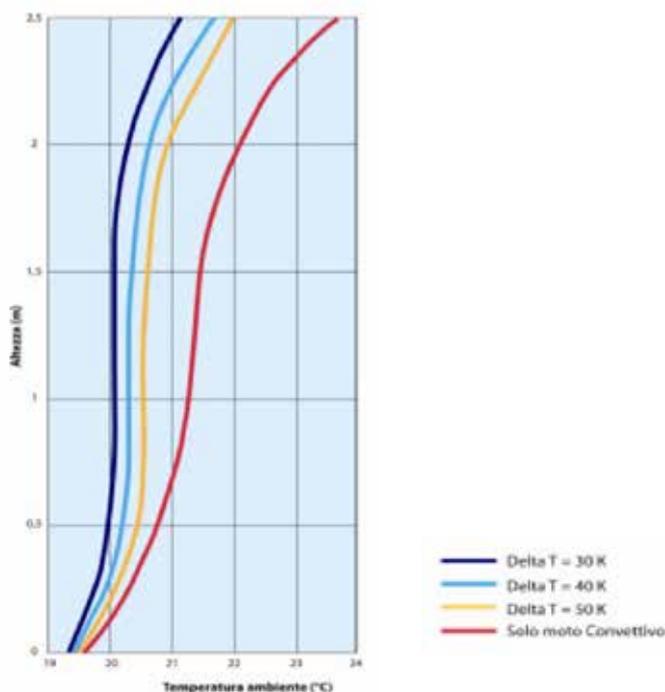
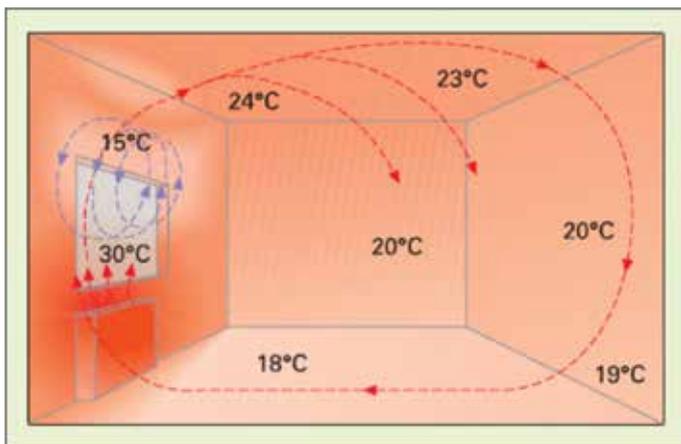


Figura 6.14 Distribución del calor en una habitación y temperatura ambiente y su variación en función de la altura de la sala.

6.1.4.5 Conexión entrada – salida de los emisores

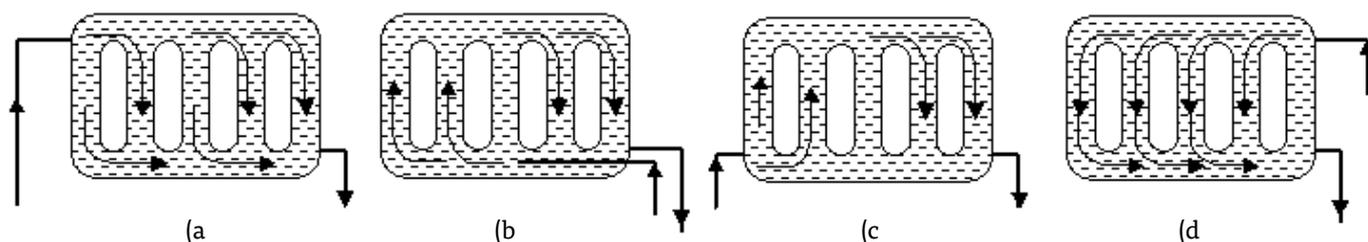


Figura 6.15 Conexión de la entrada y salida de los emisores.

En principio, los radiadores instalados en posición vertical pueden conectarse a la red de distribución de agua caliente, de cuatro formas distintas, como se ilustra en la Figura.

- a. El agua caliente entra por un vértice superior y el agua fría sale por el vértice inferior del lado opuesto. Es el sistema más recomendado. Desde un punto de vista teórico, es la mejor conexión puesto que favorece la circulación natural del agua. El agua llega impulsada a la zona superior del radiador, se distribuye a lo ancho del mismo, desciende por los conductos verticales y se recoge en la zona inferior. Al ser más densa el agua fría que la caliente, su convección natural favorece la circulación en el sentido descrito. Desde la óptica del instalador, puede no ser la mejor opción, ya que implica mayor longitud de tubería y estéticamente no es muy atractiva puesto que deja más tubería a la vista.
- b. El agua caliente entra por un vértice inferior y el agua

fría sale por el mismo vértice. La entrada y salida del agua se realiza mediante dos tubos concéntricos situados en una esquina inferior, la tubería de entrada es interior y penetra dentro del radiador hasta una cierta longitud. Esta configuración obliga al agua a seguir un recorrido aproximadamente circular. Desde el punto de vista teórico no es la mejor opción, puesto que hay zonas en que la circulación es inversa a la convección natural y la pérdida de carga en la entrada y salida será mayor que la del caso anterior. Sin embargo, estéticamente es una solución discreta. Es muy utilizada en los sistemas monotubo.

- c. El agua caliente entra por un vértice inferior y el agua fría sale por el vértice inferior del lado opuesto. Este tipo de conexión pretende establecer una circulación del agua parecida a la indicada por las flechas. El agua caliente asciende por convección en la zona cercana a la entrada y desciende, también por convección, en las proximidades

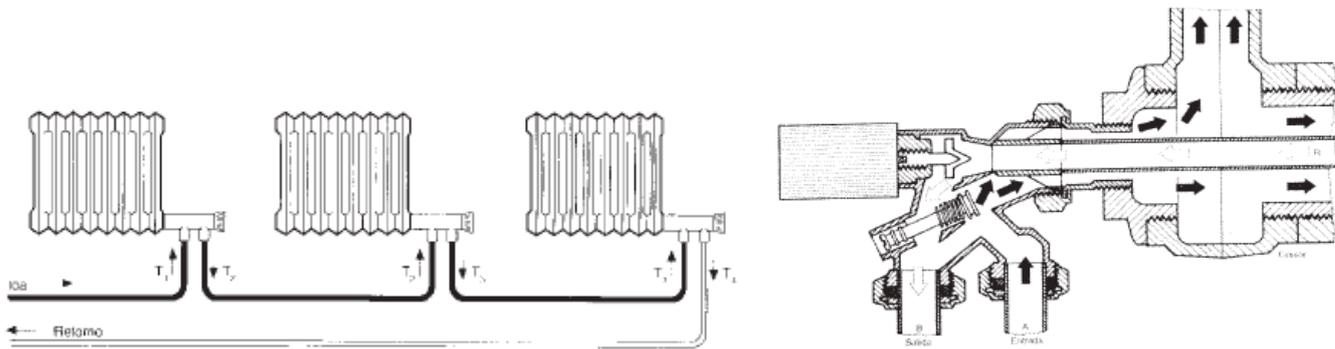


Figura 6.16 Flujo de entrada y salida por vértice inferior.

de la salida. Teóricamente, esta disposición no es aconsejable puesto que, si la velocidad de circulación es relativamente elevada o el radiador es corto, una parte importante del caudal entrante pasará directamente del orificio de entrada al de salida, el agua no tendrá tiempo de enfriarse y el calor entregado al recinto será inferior al deseado.

- d. El agua caliente entra por un vértice superior y el agua fría sale por el vértice inferior del mismo lado. Esta disposición es mejor que la anterior ya que la circulación por convección natural trabaja a favor de la circulación forzada por la bomba, sin embargo, la distribución de temperatura no será uniforme. La longitud del camino recorrido por el agua a través de los canales cercanos a las bocas de entrada y salida es mucho más corta que el seguido a través de los canales más alejados, en consecuencia, el caudal que circula por los primeros será mayor que el que circula por los segundos. En resumen, la zona próxima a las conexiones estará más caliente que la zona más alejada y la eficiencia del radiador no será la deseada. Este mal comportamiento será más acusado a medida que aumente la longitud del radiador, por lo que no es recomendable para radiadores muy grandes.

6.1.5 Tipos de instalaciones

En los sistemas de calefacción cuyo fluido transmisor es el agua, el calor producido por el generador de calor se distribuye hasta los emisores finales mediante una red de tuberías. Atendiendo a esta distribución se pueden clasificar las instalaciones de diferentes formas.

6.1.5.1 Instalación bitubo

Es el sistema más usual de instalación de radiadores. Los emisores están montados en paralelo, por lo que el agua que llega a cada radiador desde la caldera retorna directamente a ella. En este tipo de instalación la temperatura de entrada en todos los radiadores es prácticamente la misma.

Existen dos tuberías principales, una de ida y otra de retorno, en donde se van conectando los diferentes radiadores. Según la conexión del retorno existen dos posibilidades, retorno directo y retorno invertido.

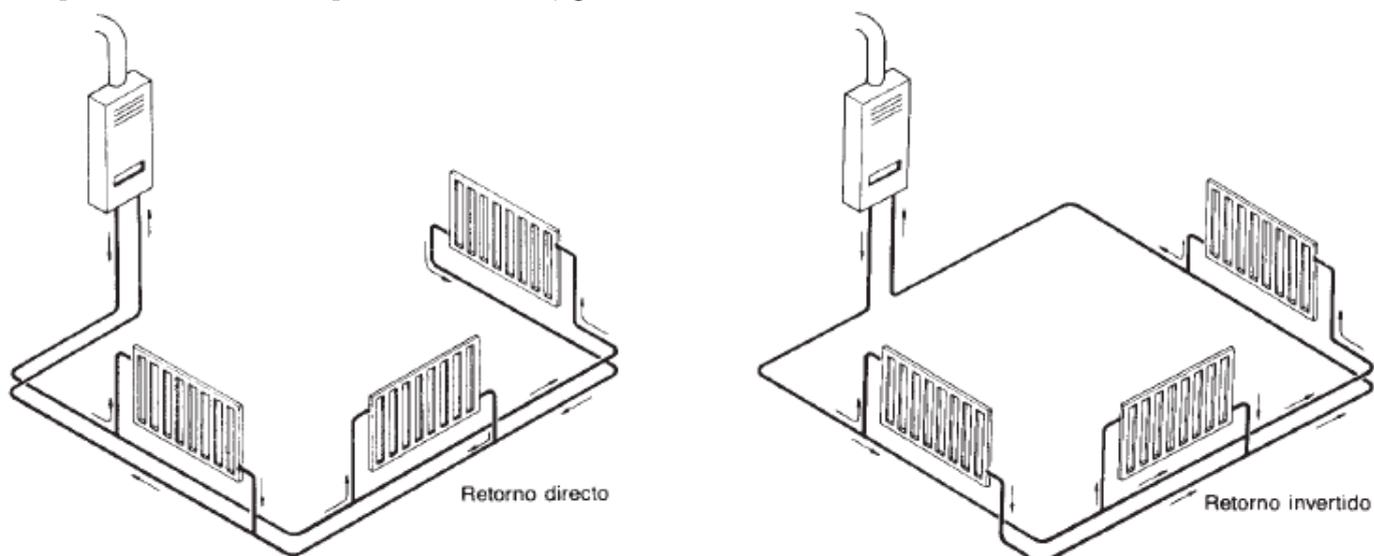


Figura 6.17 Esquema de instalación bitubo con retorno directo y retorno invertido.

6.1.5.1.1 Instalación bitubo con retorno directo

En este sistema todos los emisores están conectados en paralelo y el conjunto, en serie con la caldera y la bomba de circulación.

Al ser cada emisor independiente de los demás, puede regularse o incluso eliminarse sin que, por ello, deje de pasar agua por el resto de la instalación.

Las características más notables de este sistema son las siguientes:

- A. Desde el punto de vista del conducto de ida, el caudal de agua va disminuyendo a medida que nos alejamos de la bomba puesto que parte de éste se deriva en cada emisor. Lo contrario ocurre en el conducto de retorno.
- B. Debido a que todos los emisores están conectados en paralelo, la temperatura del agua de entrada en cada uno de ellos es prácticamente la misma, sólo existen las pérdidas por tubería.
- C. Como consecuencia de lo anterior, el dimensionado de los emisores no depende de su situación en el circuito.
- D. Al ser la caída de presión proporcional a la longitud de tubería, la diferencia de presión entre las conexiones de los emisores al circuito disminuye a medida que el emisor se aleja de la bomba.
- E. Como consecuencia de lo anterior, los tramos que conectan el emisor al circuito deberán diseñarse de forma tal que circule el caudal deseado.

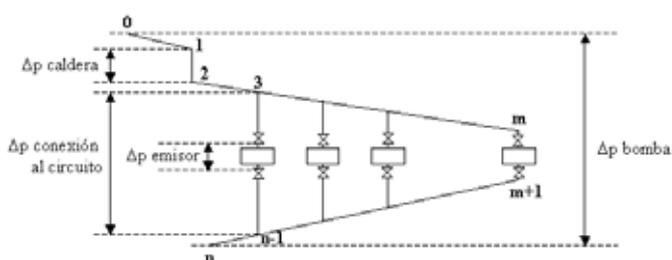


Figura 6.18. Diagrama de la caída de presión en un sistema bitubo con retorno directo.

6.1.5.1.2 Equilibrado del circuito

Por cada emisor debe circular el caudal de agua capaz de soportar la carga térmica adjudicada. Dicho de otra forma, el circuito debe estar equilibrado hidráulicamente.

Para que, por cada emisor, circule el caudal deseado, es necesario que la caída de presión debida al propio emisor más tuberías de conexión y accesorios, coincida con la diferencia de presión entre las conexiones al circuito principal, lo cual puede conseguirse de distintas formas:

- A. Si es necesario aumentar la pérdida de carga, puede elegirse una tubería de menor diámetro, con lo cual la velocidad de circulación será mayor y la caída de presión también. En caso contrario, reducir la caída de presión, se puede elegir una tubería de mayor diámetro.
- B. Los accesorios provocan caídas de presión que, instalados adecuadamente, pueden ayudar a conseguir la pérdida de presión deseada (codos de pequeña curvatura, codos en ángulo cerrado, estrangulaciones, etc.).
- C. A efectos prácticos, se suele instalar una tubería de distribución dimensionada para el caudal total de la instalación, con derivaciones dimensionadas por radiador. Las pérdidas de carga adicionales que nos podemos encontrar se compensarán con el detentor.

6.1.5.1.3 Conexión y dimensionado de los emisores

Los emisores se conectan a las tuberías de ida y retorno con dos válvulas intercaladas, una delante y otra detrás del mismo, cuya función es la siguiente:

- A. Proporcionar la caída de presión necesaria para equilibrar hidráulicamente el circuito.
- B. Ofrecer la posibilidad de regular el caudal de agua que circula por cada emisor.
- C. Permitir la posibilidad de aislar el emisor del resto de la instalación para su limpieza, reparación, ampliación o sustitución.

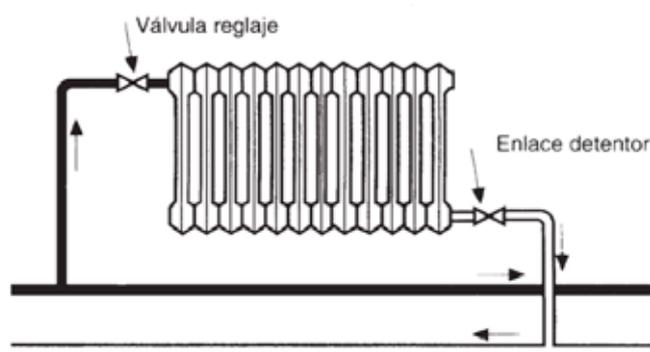


Figura 6.19. Conexión de emisores en un sistema bitubo.

Aguas abajo del emisor, se suele instalar la válvula de regulación (detentor) que sirve para el equilibrado hidráulico del circuito. Esta operación de equilibrado se realiza posicionando el obturador hasta que, por el emisor, circula el caudal deseado. En algunos textos se conoce como regulación primaria, y una vez efectuada, se bloquea el detentor (tapón) de forma que no sea fácilmente accesible por el usuario.

Aguas arriba del emisor, se instala otra válvula que permite regular el caudal en función del criterio del usuario. Evidentemente, esta válvula debe ser accesible y sirve para realizar la regulación secundaria.

En algunos casos, una misma válvula puede servir para realizar las dos funciones, regulación primaria y secundaria, o bien puede prescindirse de la posibilidad de regulación secundaria. En estos casos, deberá instalarse una válvula de corte que permita aislar el emisor cuando sea necesario.

Como el salto térmico es el mismo en todos los emisores, todos trabajan a la misma temperatura, el dimensionado es sumamente simple y puede seguirse el proceso siguiente:

- A. Cálculo de la carga térmica de cada local o habitación.
- B. Elección del salto térmico y de la temperatura media de los emisores.
- C. Cálculo de la superficie (número de elementos) de cada emisor según datos del fabricante.

6.1.5.1.4 Instalación bitubo con retorno invertido

Este sistema es semejante al anterior con la diferencia que el orden de conexión de los emisores en la tubería de retorno es el inverso al de la tubería de ida. Dicho en otras palabras, el emisor más cercano a la bomba, siguiendo la tubería de ida, es el más alejado siguiendo la de retorno, como ilustra la Figura 6.20.

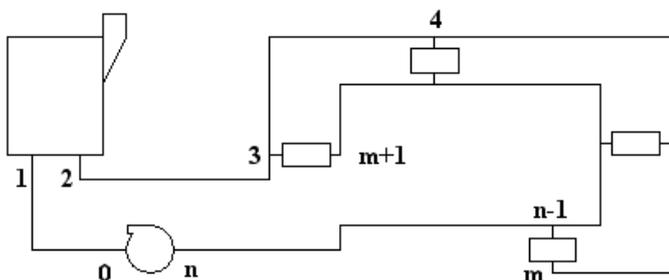


Figura 6.20 Esquema ilustrativo de un sistema bitubo con retorno inverso.

Las características de este sistema son iguales que las del anterior, excepto en lo que hace referencia a la caída de presión:

- A. La diferencia de presión entre conexiones del emisor al circuito no presenta diferencias tan acusadas como las del circuito con retorno directo.

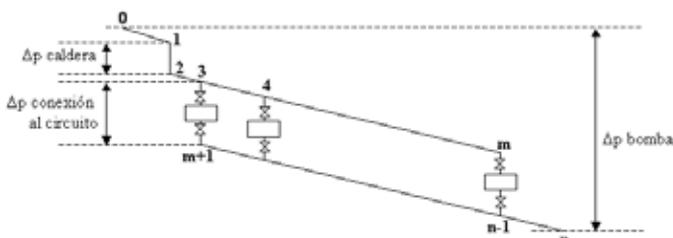


Figura 6.21 Diagrama de la caída de presión en un sistema bitubo con retorno inverso.

Al tener prácticamente la misma pérdida de carga en cada emisor, se facilita el equilibrado del circuito de forma tal que, en algunos casos, no es necesario instalar válvulas de regulación primaria, pudiendo instalarse diferentes secciones para compensar, lo cual es muy difícil o imposible en un circuito con retorno directo.

6.1.5.2 Sistemas monotubo

En este sistema, el circuito es un anillo en el que se instalan todos los elementos en serie: emisores, caldera y bomba de circulación, como ilustra la Figura.

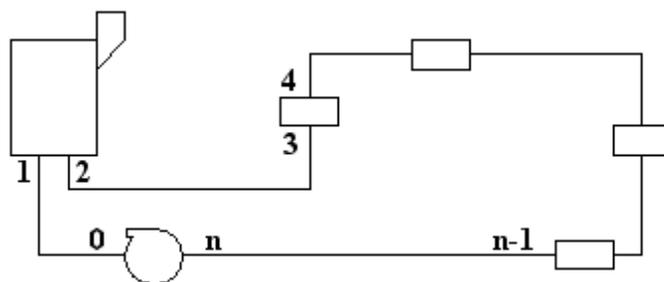


Figura 6.22 Esquema ilustrativo de un sistema monotubo.

Las características más notables de este sistema son las siguientes:

- A. Todo el caudal de agua de calefacción pasa por todos los emisores y, en consecuencia, todos los tramos de tubería tienen el mismo diámetro.
- B. Al pasar todo el caudal por todos los emisores, no permite la regulación individual del calor disipado en cada emisor de calor.
- C. Debido a que todos los emisores están conectados en serie, la temperatura del agua va disminuyendo paulatinamente en el sentido de circulación y la temperatura media de los emisores disminuye.
- D. Como consecuencia de lo anterior, el dimensionado de los emisores dependerá, además de la carga térmica a cubrir, de su situación en el circuito. Los más cercanos a la salida de la caldera se deberán sub-dimensionar y los más alejados se deberán sobre-dimensionar.

6.1.5.2.1 Conexión de los emisores

Los emisores pueden conectarse hidráulicamente al circuito de dos formas distintas:

- a. El emisor se intercala directamente en el trazado de la tubería. Es el método más simple pero presenta el inconveniente que, si es necesario inutilizar, eliminar o modificar un emisor, debe vaciarse todo el circuito.

- b. El emisor se conecta al circuito mediante una válvula de tres vías y otra de corte, de forma tal que permiten derivar el paso de agua aislando el emisor del resto del circuito. La forma más habitual es con llave específica que realiza las dos funciones.

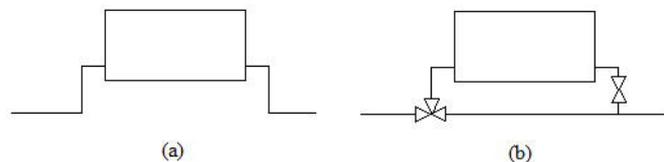


Figura 6.23. Conexión de emisores en un sistema monotubo.

6.1.5.2.2 Elección de la bomba

La bomba deberá ser capaz de suministrar el caudal total del circuito a una presión igual a la suma de las caídas de presión de todos los emisores más la debida a los conductos, accesorios y caldera.

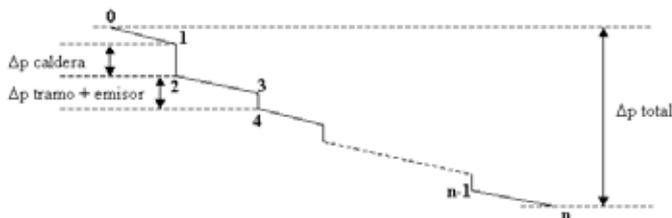


Figura 6.24 Diagrama de la caída de presión en un sistema monotubo.

6.1.5.3 Sistema en anillo

Este sistema no es muy utilizado, pero puede ser interesante en algunos casos, sobre todo si el número de emisores es importante. Consta de dos anillos cerrados, uno alimentado por la tubería de ida y otro por la de retorno, a los que se conectan los emisores en paralelo.

Su ventaja principal consiste en que, eligiendo los diámetros adecuados en los anillos, la diferencia de presión entre las conexiones de entrada y salida de todos los emisores es prácticamente la misma, con lo cual los problemas de equilibrio hidráulico se simplifican notablemente.

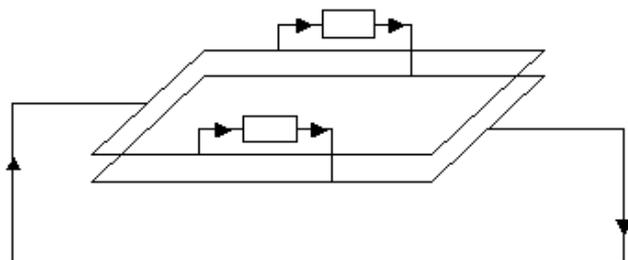


Figura 6.25 Conexión de emisores a un circuito en anillo.

6.1.5.4 Sistemas mixtos

Desde un punto de vista teórico, el circuito bitubo con retorno inverso, es el mejor, puesto que facilita extraordinariamente el equilibrado del mismo y suele conducir a caídas de presión menores. Sin embargo, tiene características negativas, como, por ejemplo, la necesidad de emplear una longitud mayor de tubería en la mayoría de los casos, que no lo hacen aconsejable. En consecuencia, por razones de tipo económico y de facilidad de instalación, muchos circuitos pueden ser una mezcla de los tres tipos desarrollados anteriormente.

A continuación, se exponen las configuraciones típicas.

6.1.5.4.1 Asociación de circuitos monotubo a un circuito bitubo

El circuito monotubo es, con mucho, el modo más sencillo y económico de conexión de emisores y su gran inconveniente es que la temperatura del agua va disminuyendo a medida que atraviesa los distintos emisores, y este mal comportamiento se agrava a medida que aumenta el número de emisores necesarios y disminuye el salto térmico deseado.

Sin embargo, si debe atenderse a un pequeño grupo de emisores, pueden conectarse en serie (monotubo) y el conjunto a un circuito general bitubo, con válvula de corte y detentor en las conexiones, para poder equilibrar el circuito y aislarlo del resto de la instalación. Esta solución es aplicable cuando el grupo de emisores atiende a la calefacción de un solo recinto o viviendas de superficie moderada.

A título de ejemplo, en la Figura 6.26, se ha representado el esquema de un conjunto de circuitos monotubo de corto recorrido, situados en distintas plantas, conectados a un circuito general bitubo que, en este caso, es de retorno directo. Podría ser una buena solución para un bloque de apartamentos en que las tuberías de ida y retorno del circuito principal circulan por un patio interior o pozo de servicios y al llegar a cada planta se conectan, en derivación, los circuitos monotubo de cada apartamento.

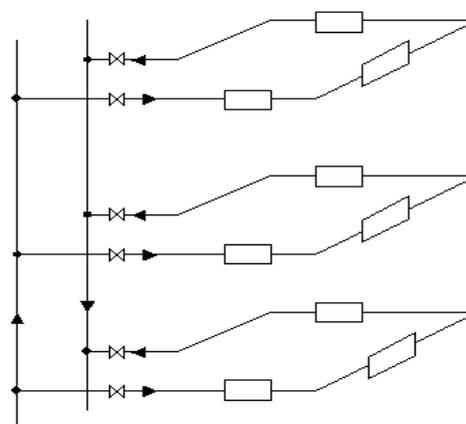


Figura 6.26 Circuitos monotubo situados en distintas plantas conectados a un circuito bitubo.

6.1.5.4.2 Red de distribución bitubo en árbol

El sistema está formado por un conjunto de circuitos bitubo conectados en paralelo a un circuito de distribución principal.

En la Figura 6.27, se han representado dos posibilidades que podrían corresponder a la distribución de calefacción a distintas plantas de un edificio. En uno de ellos (a), los circuitos de cada planta son bitubo con retorno directo; mientras que en el otro (b), los circuitos son de retorno inverso. Es evidente que la elección entre uno y otro dependerá principalmente de la posibilidad de paso de las tuberías por un sitio u otro, pero la segunda opción, teniendo en cuenta el equilibrado de la red, es mejor que la primera.

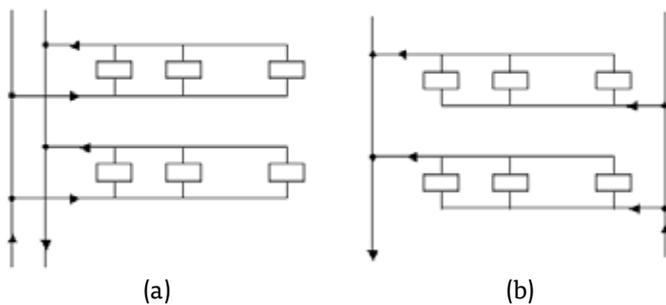


Figura 6.27 Circuitos bitubo retorno directo (a) y retorno invertido (b) conectados en árbol.

Para elegir la bomba, deberá tenerse en cuenta la pérdida de presión máxima que, como ya se ha dicho, no se conoce de antemano. Sin embargo, es presumible que se dé en los emisores más alejados de la bomba de circulación. Empezando a calcular el tanteo por los circuitos más alejados de la bomba, se puede ahorrar tiempo de cálculo.

6.1.6 Bibliografía

- Elaboración propia.
- Documentación comercial.
- Manual de Calefacción Marcombo

6.2 SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN POR SUELO RADIANTE

6.2.1 Principio de funcionamiento

Los sistemas de climatización por suelo radiante se caracterizan por contar con el agua como fluido portador de la energía necesaria para crear las condiciones de confort deseadas en un espacio interior. La energía contenida en el agua puede tener su origen en una fuente de energía renovable o de origen fósil y dicha energía se transmitirá por radiación principalmente, y en un menor porcentaje por convección al interior de las estancias.

Dicha transmisión de energía provocará una sensación de temperatura en los usuarios que se corresponderá con el término denominado temperatura operativa. Cuando se mide el ambiente térmico de una habitación ha de recordarse que el hombre no puede sentir la temperatura del local, sino el calor que pierde su cuerpo. A diferencia de la temperatura del aire, la temperatura operativa es el valor promedio entre la temperatura del aire y el valor medio de la temperatura radiante de las superficies que conforman la estancia en la que se encuentre el usuario. Para ello, se ha de cumplir que la velocidad del aire sea inferior a 2 m/s, o que la diferencia entre temperatura radiante media y temperatura del aire sea menor de 4°C.

De este modo, si se desea influir en las condiciones de confort percibidas por el usuario, la mejor forma de hacerlo con el menor consumo de energía posible, es modificar la temperatura de radiación de las superficies que le rodean, sin modificar la temperatura del aire de la estancia.



Figura 6.28 Esqueleto de un edificio.

Para entender esto, debemos reparar en la capacidad que tienen los diferentes materiales de conservar la energía térmica y, a su vez, en deshacerse de ella. Esto dependerá de la masa y del calor específico del mismo. A mayor masa, las variaciones de temperatura serán menores y el proceso de liberación de energía será más progresivo. Esto, llevado al plano de la arquitectura de los edificios, es fundamental a la hora de lograr mejores condiciones de confort interior, ya que se evitan las variaciones bruscas de temperatura, al tiempo que se retarda su influencia cuando se dan, por ejemplo, entre el periodo diurno y nocturno.

Las técnicas empleadas en la edificación para controlar dichas variaciones o favorecer el retardo pueden ser el uso de soluciones aislantes o crear condiciones de temperatura del aire interior que no varíen mucho de las exteriores y aprovechar la inercia de grandes superficies, como son suelos, paredes o techos.

Para poder aprovechar la propiedad de inercia térmica de los elementos estructurales de un edificio, se necesita poder influir sobre ella. Esto es posible si se es capaz de modificar la temperatura de la masa que los conforma. El sistema desarrollado para poder realizarlo es el uso de sistemas radiantes.

6.2.2 Sistemas radiantes

6.2.2.1 Descripción

Los sistemas radiantes están constituidos por una red de tuberías de polietileno reticulado embebidas en una masa de material. Cuanto mayor sea la superficie ocupada por esa red de tuberías más uniforme será el intercambio de energía, aunque hay que tener en cuenta que la simetría del confort variará según se trate de superficies en el plano horizontal (suelos y techos) o en el plano vertical (paredes). En el caso de una misma superficie, la temperatura será la misma en cualquiera de sus puntos, por lo que no existirán focos de calor y, por tanto, tampoco movimiento de aire desde zonas de aire caliente a zonas de aire frío.

El intercambio de calor será eficiente siempre y cuando la superficie y el usuario estén a temperaturas diferentes sin que sea necesario contacto alguno o que exista un fluido intermedio que transporte la energía desde la fuente de generación hasta el mismo usuario (caso de los sistemas de aire).

6.2.2.2 Confort térmico

Existe un estado de confort si se produce un estado de equilibrio entre el calor generado por una persona y el calor que disipa a su entorno. Por tanto, para valorar las condiciones de confort habrá que hacer una medición de los factores que afectan a la pérdida de energía:

$$t_o = \frac{(T_{mr} + T_{aire})}{2}$$



6.29. Vivienda con sistema de climatización de suelo radiante.

En invierno, si disminuye la temperatura del aire, se debe aumentar la temperatura radiante media, mientras que, en verano, si aumenta la temperatura del aire, se debe reducir la temperatura radiante media. Además de controlar otros factores, como:

- A. Temperatura seca de aire.
- B. Temperatura radiante media.
- C. Velocidad del aire.
- D. Humedad relativa.

Se consideran condiciones interiores de diseño, según la época del año, las comprendidas entre los siguientes valores:

Tabla 6.8 Condiciones interiores de diseño

Estación	Temp. Operativa (°C)	Velocidad media aire (m/s)	Humedad relativa (%)
Verano	23	0,18 - 0,24	40 - 60
	25		
Invierno	20	0,15 - 0,20	40 - 60
	23		

6.2.2.3 Sistema de suelo radiante

Las instalaciones de climatización por suelo radiante cuentan con una capa de aislamiento que se coloca sobre el forjado del piso y que sirve de soporte para colocar las tuberías que constituyen los circuitos hidráulicos que cubren el total de la superficie a climatizar.

Sobre dichos circuitos se vierte la masa de mortero que ha de conferir la inercia al sistema y que contará con una alta capacidad de almacenamiento de energía calorífica.

Dicha energía proviene del agua que circula por los circuitos y que inicialmente habrá sido calentada a una temperatura de entre 35 - 40° C, si el sistema funciona en modo calefacción, mientras que en caso de funcionar en modo de refrigeración el agua es enfriada entre 16 - 18° C.

En invierno, el mortero absorbe el calor procedente del agua de las tuberías y lo transmite al pavimento para que, a su vez, se emita la energía por radiación al entorno de la habitación en mayor porcentaje, y en un menor grado por convección natural.

En verano, el pavimento absorbe el calor emitido en la habitación por radiación y en parte por convección, desde las paredes y el techo. Posteriormente, el calor se transmite al mortero y a la tubería de suelo radiante.

6.2.2.4 Elementos principales de la instalación

Haciendo un recorrido desde el elemento exterior y hacia las capas inferiores de la solución constructiva nos encontraríamos con:

I. Pavimento

Son numerosas las tipologías de pavimentos disponibles: madera, cerámica, granito, sintético, etc. En cualquier caso, es fundamental contrastar el valor de resistencia térmica m²K/W para seleccionar el más adecuado.

En el caso de los pavimentos de madera, el pavimento ha de contener entre un 8-12% humedad según normativa de construcción y se recomienda que su densidad sea, al menos, 550 kg/m³ y una resistencia térmica total no superior a 0,17 m²K/W (UNE 56-810 11.5).

II. Mortero

La capa de mortero soporta el pavimento y las cargas que recibe según el uso de la estancia y, además, transmite el calor procedente de los circuitos. Los morteros, al igual que los pavimentos, influyen en el rendimiento final de la instalación, por lo que el valor de conductividad térmica es de gran importancia.

Existen diferentes tipos de morteros húmedos que se pueden clasificar en:

Tabla 6.9 Clasificación de los diferentes morteros húmedos

Base	Espesor (mm)	Conductividad (W/mK)
Cementosa		
Tradicional	45-50	1,2
Autonivelante	10-30	1,7
Anhidrita	30	2,02

El espesor de la capa de mortero se mide a partir de la generatriz del tubo que conforma el circuito.

Cuanto más estables son las condiciones exteriores, mayor puede ser el espesor del mortero. Se aporta así mayor inercia a la instalación. Zonas climáticas con variaciones frecuentes o bruscas de la temperatura exterior requieren menores espesores de perfil y, por tanto, una menor inercia y una mayor velocidad de reacción del sistema frente a la demanda de confort.

Las dilataciones de la losa de mortero han de preverse mediante juntas de dilatación instaladas en los siguientes casos:

Tabla 6.10. Criterio de instalación de juntas de dilatación.

Superficie estancia (m ²)	Longitud (m)	Relación entre lados
40 <	8 máx	-
> 40	> 8	< 2:1

Además, se han de instalar en pilares o puntos donde vayan a existir focos de calor y, por tanto, dilataciones como, por ejemplo, chimeneas. Igualmente, se instalarán en el paso de puertas o en los laterales de los pasillos.

Las juntas no serán atravesadas por circuitos, únicamente por tubos de conexión protegidos por vainas.



Figura 6.30. Juntas de dilatación.

También hay que tener en cuenta consideraciones importantes como:

- La necesidad de añadir una solución acuosa de sulfonato de lignina con agentes humectantes especiales con la finalidad de lograr una mayor fluidez del mortero y, por consiguiente, mejorar la adhesión mortero - tubería que mejora la transmisión de calor.
- Verter al mismo tiempo todo el mortero en una misma estancia para lograr un fraguado simultáneo.
- Controlar la temperatura del mortero y de la estancia para que no sean inferiores a 5° C durante las primeras 72 horas.
- Asegurarse mediante la existencia de juntas previas que la losa de cada estancia sea independiente del resto para evitar pérdidas de calor.

III. Tubería

Los circuitos que conforman la instalación están constituidos por tuberías plásticas de polietileno reticulado. El objetivo principalmente es evitar:

- La degradación de la tubería con el paso del tiempo por oxidación.
- La acumulación de deposiciones que obturen el paso de caudal de agua.
- El sobrepeso.
- La transmisión de ruido.
- La pérdida de carga por rozamiento.

Para lograr que la temperatura superficial del pavimento sea homogénea, el diseño de los circuitos ha de contar con una longitud recomendada que no supere los 100 - 120 m (ida + retorno), con el fin de evitar una excesiva pérdida de carga en los mismos.

El trazado de los mismos debe ser en:

- Espiral (estancias con planta en forma geométrica sencilla).
- Serpentín sencillo (estancias pequeñas con planta en forma geométrica sencilla cuya relación anchura/longitud no sea superior a 1:4 y 120 m de longitud máxima de tubería).
- Doble serpentín (estancias con planta en forma geométrica compleja).



Figura 6.31. Instalación de tuberías plásticas de polietileno reticulado.

La primera y última disposición de los trazados favorece la ausencia de puntos calientes o fríos en la estancia, dado que la tubería de ida y retorno discurre siempre en paralelo, y, por tanto, se reduce la diferencia de temperatura entre la entrada del agua en el circuito y su salida.

La longitud de cada circuito resultará de sumar:

$$2l + A/e$$

- a. La distancia desde el colector hasta la posición del circuito (l) y viceversa (l): 2l
- b. El valor resultante de dividir el área a climatizar (A) entre la separación entre los tubos de impulsión y retorno (e): A/e

Siendo e:

Tabla 6.11. Separación entre tubos de impulsión y retorno.

Calefacción	Calefacción y/o Refrigeración	Aseos
20 - 15 cm	15 cm	10 cm

IV. Aislamiento

Tiene una doble función en la instalación:

- a. Portante: sobre el mismo se fija la tubería que conforma los circuitos, impidiendo que ésta se mueva o desplace. El método de fijación de la tubería dependerá del formato y diseño del material aislante. Habitualmente, se presenta en forma de plancha rectangular que cuenta con diferentes métodos de fijación tubo-panel.

- b. Aislante: evita la transmisión de calor al forjado y, por tanto, las pérdidas energéticas hacia el nivel inferior. El grado de aislamiento será acorde a normativa.

El material aislante empleado suele estar fabricado entre otros materiales en:

- Poliestireno expandido.
- Poliestireno extruido.

Cualquiera de estos puede estar combinado con aditivos mejoradores de las propiedades.



Figura 6.32 Poliestireno extruido y poliestireno expandido.

La elección del material aislante dependerá de la relación que se desee lograr entre su espesor y el grado de aislamiento que aporte según las necesidades de la instalación.

Los parámetros principales a valorar son:

- a. Resistencia térmica ($m^2 K/W$): función de la conductividad térmica del material y el espesor.
- b. Resistencia a la compresión (kPa).
- c. Aislamiento acústico frente a ruido por impacto (dB).

La normativa de instalaciones de suelo radiante UNE- EN - 1264 indica las necesidades de resistencia térmica mínima necesaria:

- a. $R_t = 0,75 m^2K/W$ para aquellos locales que se encuentren sobre locales calefactados.

- b. $R_t = 1,25 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ para aquellos locales que se encuentren sobre locales no calefactados o intermitentemente.

En el caso de la protección contra el ruido, se especifican los parámetros, objetivos y sistemas de verificación para asegurar no sobrepasar los niveles mínimos de ruido según el Documento Básico HR. En división horizontal, la normativa marca un valor límite de ruido por impacto de:

<65 dB en recintos habitables y cuando el ruido procede de otra vivienda o zona común.

<60 dB en instalaciones o recintos de actividad.

Mientras que en lo referido a la resistencia a compresión es en el documento básico DB SE-AE Acciones en la edificación del Código Técnico de la Edificación, donde se recogen los valores a sobrecarga a considerar. Serán debidos a la aplicación de una carga distribuida uniformemente como, por ejemplo:

- El uso que sea fundamental en cada zona del mismo.
- Efectos derivados del uso normal.
- Personas.
- Mobiliario, enseres y mercancías habituales.

Dichos valores de resistencia a compresión se corresponden con valores inferiores de 5 kN en viviendas.

V. Zócalo perimetral

La función del zócalo perimetral es la absorción de las dilataciones del mortero y que se producen por el cambio de temperatura tanto durante su calentamiento como su enfriamiento. Además, evita la generación de puentes térmicos y acústicos a través de los paramentos verticales. El zócalo ha de adherirse en la base de los paramentos verticales y alrededor del perímetro de la estancia, y ha de contar con un faldón plástico situado por encima del aislamiento que impida la penetración del mortero por debajo del aislamiento y, por tanto, la generación de desniveles que afectarían a la circulación de los caudales de cada uno de los circuitos.

VI. Film antihumedad

Se trata de una barrera aislante plástica que impide la ascensión de humedad por capilaridad hacia el nivel del suelo base en plantas bajas cuyo forjado está en contacto con dicho terreno.

VII. Colectores

Todos los circuitos estarán conectados en su impulsión y retorno a tomas de entrada y salida correlativas y que conformarán el cuerpo de un colector hidráulico de 1". En dicho colector se regula hidráulicamente el caudal de cada circuito con el fin de conseguir pérdidas de presión similares en todos los circuitos.

La regulación se realiza mediante caudalímetros situados en la impulsión, teniendo en cuenta:

- a. La curva característica de pérdida de carga de los mismos.
- b. El caudal circulante.
- c. La pérdida de presión de la tubería.

Los caudalímetros tienen la función de generar una pérdida de carga adicional en aquellos circuitos que, por su longitud, tienen menor pérdida de carga, de modo que todos los circuitos lleguen a tener una pérdida de carga similar.

En el retorno se colocan cabezales termostáticos que se abren o cierran permitiendo el paso de agua en el circuito en función de la demanda de confort en cada estancia.

La conexión de los circuitos a la impulsión y retorno del colector ha de ser estanca.

Tanto en la toma de llenado como en la de vaciado se colocarán los termómetros de impulsión y retorno con el fin de comprobar posteriormente la instalación. Igualmente, con el fin de favorecer el purgado de aire de la misma, se colocará un purgador en el punto más alto de la instalación (el colector).

- a. Se recomiendan colectores plásticos al generarse:
- b. Menor ruido al circular el agua.
- c. Menor riesgo de deposición calcárea.
- d. Menor riesgo de condensación (funcionamiento en modo refrigeración).
- e. Ausencia de riesgo de oxidación.



Figura 6.33 Colector.

La localización de los colectores será la más equidistante a todas las estancias. De ese modo, se minimiza el diferencial de longitud entre los circuitos de la instalación.

6.2.3 Llenado, prueba de presión y condiciones de servicio

I. Llenado de la instalación

Cada uno de los circuitos se ha de llenar independientemente, a una presión de llenado no superior a 5 bar para evitar la generación de burbujas y lograr la total expulsión del aire contenido en el interior de la tubería.

El proceso se ha de realizar conectando la toma de agua de red con la llave de llenado del colector, previo cierre de las llaves de corte del resto de circuitos. Una vez que el agua retorna por la llave de vaciado del colector, se cierra junto con la llave de corte del circuito en cuestión y se repite la acción con el resto de circuitos.

En caso de riesgo de helada, los circuitos pueden incluir sustancias anticongelantes como Glicol, asegurándose antes que la tubería empleada es:

- a. Resistente (clasificación A): puede ser usado en las condiciones de trabajo.
- b. Parcialmente resistente (clasificación B): puede ser usado bajo el control de la presión de trabajo.

Igualmente, se debe tener en cuenta que estas sustancias se deterioran y desaparecen con el tiempo, por lo que se hace necesario la supervisión y medición del grado de concentración posteriormente.

II. Prueba de presión

Tras completar el llenado de todos los circuitos, y previo al vertido de mortero, se procede a verificar que no existe fuga alguna en los mismos mediante una prueba de presión. Dicha prueba consiste en someter cada circuito a una presión de ensayo de, al menos, entre 4 y 6 bar (2 x presión de servicio) durante al menos 12 horas.

III. Presión de servicio

Una vez que se verifica la estanqueidad de la instalación y se registra su conformidad, se reduce la presión a los valores de trabajo, que suelen ser de entre 1,5 y 3 bar.

6.2.4 Control

6.2.4.1 Control y regulación

Para garantizar unas condiciones de confort y un consumo energético lo más reducido posible, se necesitan conocer las

cargas térmicas a combatir (W) con el sistema de suelo radiante instalado en una superficie (m^2).

Para ello, se necesita tener en cuenta y gestionar:

- A. Temperatura del agua de impulsión, T_{imp} ($^{\circ}C$).
- B. Temperatura del agua de retorno, T_{ret} ($^{\circ}C$).
- C. Temperatura de confort en el interior de la estancia, T_i ($^{\circ}C$).
- D. Temperatura superficial del pavimento, T_s ($^{\circ}C$).
- E. Superficie (m^2).
- F. Coeficiente de transmisión térmica de las superficies de la estancia en estudio, como pared, suelo y techo ($W/m^2^{\circ}C$).
- I. Regulación de la temperatura de impulsión

El sistema de control primario de temperatura para instalaciones de calefacción y refrigeración por suelo radiante requiere calcular la temperatura de impulsión utilizando la temperatura exterior y una curva de calentamiento:

- a. Una sonda de temperatura exterior.
- b. Una sonda de impulsión.
- c. Una sonda de retorno.

La temperatura de suministro se compara con la temperatura de impulsión real y, en caso de diferir, se ajustará mediante una válvula de mezclado para incrementar o reducir la temperatura de impulsión.

II. Regulación del caudal

El sistema de control está constituido por termostatos que miden la temperatura ambiente de la estancia y que en conexión con la centralita de gestión regulan el paso de caudal de agua por cada uno de los circuitos desde los colectores.

Si la temperatura en la estancia es inferior a la temperatura de consigna, el circuito se abre y deja paso al caudal de agua para aumentar la temperatura de radiación. En el momento en que la temperatura ambiente se aproxima a la temperatura de consigna, el circuito se cierra reduciendo el paso de caudal.

6.2.4.2 Estrategias de control de la temperatura

I. Regulación On-Off

Apertura y cierre del caudal de cada circuito durante un periodo establecido hasta alcanzar la temperatura demandada en la estancia.

II. Temperatura constante del agua con suministro constante

Esta estrategia requiere que la temperatura del agua de impulsión sea 2 o 3° C inferior a la temperatura de consigna. Se gestiona la calefacción mínima, existiendo otras fuentes externas que aportan calor adicional, como puede ser una gran incidencia de radiación solar o sistemas de calefacción complementarios. Se reduce el riesgo de grandes oscilaciones de temperatura tanto por exceso como por defecto.

III. Temperatura constante del suelo

Recomendado en aquellas estancias donde se requiere una temperatura constante (vestuarios, aseos, baños, etc.).

IV. Temperatura del caudal circulante en función de la temperatura exterior

En caso de producirse un aumento de la temperatura exterior, el sistema de control disminuye la temperatura del agua de impulsión. Se reducen las pérdidas innecesarias de calor. Se requiere una sonda exterior.

V. Caudal variable con suministro de agua a temperatura constante

Si se compara la temperatura de impulsión y la temperatura de retorno y existe una gran diferencia, entonces se puede deducir que existe un déficit de calor en las estancias (ventana abierta), mientras que una diferencia pequeña supone una transmisión de calor correcta.

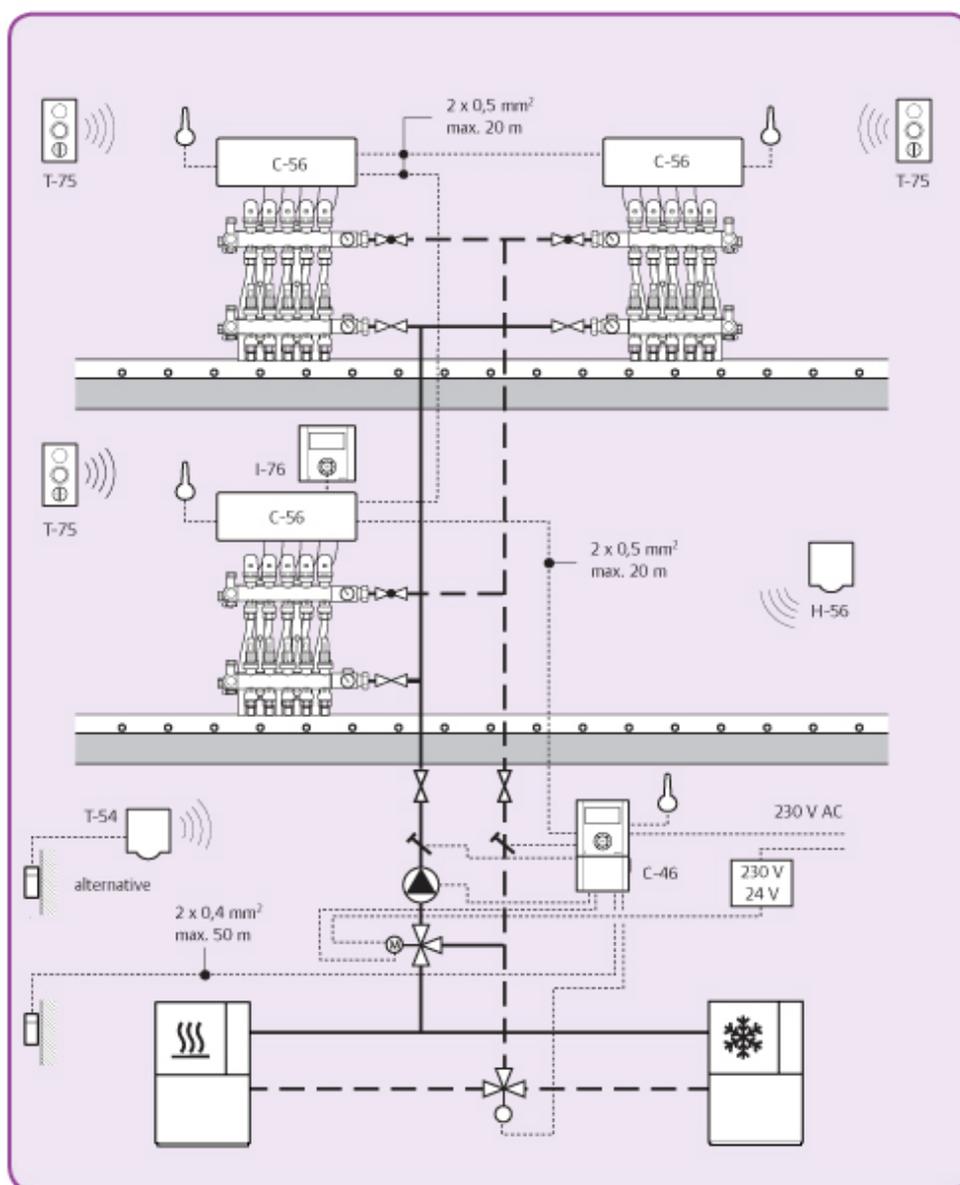


Figura 6.34 Esquema de instalación.

6.2.5 Cálculo de la instalación

6.2.5.1 Cálculo de la carga térmica de los recintos

El diseño de una instalación de suelo radiante requiere calcular las cargas térmicas de los recintos. Para una instalación de refrigeración, se considera la carga térmica sensible instantánea para la hora y el día más desfavorable.



Figura 6.35 Edificio tipo donde se instalará el sistema de refrigeración.

Tabla 6.12 Datos del edificio.

Conjunto de recintos	Recinto	Planta	$Q_{N,f calefacción}$ (W)	$Q_{N,f refrigeración}$ (W)	S (m ²)	q calefacción (W/m ²)	q refrigeración (W/m ²)
Vivienda 3 dormitorios	Baño 1	Baja	86.41		4.11	21.0	
	Baño 2		152.75		3.85	39.7	
	Dorm.01		505.11	163.26	12.09	41.8	13.5
	Dorm.02		268.25	320.39	9.95	27.0	32.2
	Dorm.03		332.39	302.88	9.99	33.3	30.3
	Cocina		325.10	661.62	10.36	31.4	63.9
	Salón-comedor		839.06	739.41	22.43	37.4	33.0

Siendo			
$Q_{N,f calefacción}$	Carga térmica de calefacción para el cálculo de suelo radiante	q calefacción	Densidad de flujo térmico para calefacción
$Q_{N,f refrigeración}$	Carga térmica de refrigeración para el cálculo de suelo radiante	q refrigeración	Densidad de flujo térmico para refrigeración
S	Superficie del recinto		

Se parte de una temperatura máxima de la superficie del suelo según el tipo de instalación:

I. Suelo radiante para calefacción:

Tabla 6.13. Temperatura máxima de la superficie del suelo en función del recinto en calefacción.

Tipos de recinto	$\theta_{f,max}$ (°C)	θ_i (°C)	q_G (W/m ²)
Zona de permanencia (ocupada)	29	20	100
Zona de permanencia con madera (ocupada)	27	20	75,8
Cuartos de baño y similares	33	24	100

Siendo			
$\theta_{f,max}$	Temperatura máx. de la superficie del suelo	q_G	Densidad de flujo térmico límite
θ_i	Temperatura del recinto		

II. Suelo radiante para refrigeración

Tabla 6.14 Temperatura máxima de la superficie del suelo en función del recinto en refrigeración.

Tipos de recinto	$\theta_{f,min}$ (°C)	θ_i (°C)	q_G (W/m ²)
Zona de permanencia (ocupada)	19	26	49

Siendo			
$\theta_{f,min}$	Temperatura mínima. de la superficie del suelo	q_G	Densidad de flujo térmico límite
θ_i	Temperatura del recinto		

La densidad de flujo térmico límite según sea para calefacción o refrigeración se calcula por medio de la siguiente expresión:

Calefacción: $q = 7(|\theta_{f,min} - \theta_i|)(W / m^2)$ Refrigeración: $q = 8.92(\theta_{f,max} - \theta_i)^{1.1}(W / m^2)$

6.2.5.2 Localización de los colectores

La instalación dispone de colectores de impulsión y de retorno que comunican el equipo productor con los circuitos de suelo radiante.

Los colectores deben disponerse en un lugar centrado respecto a los recintos a los que da el servicio, normalmente en pasillos y distribuidores.

Se describe a continuación la localización de los armarios introducidos en el proyecto y en el número de circuitos que abastecen.

Tabla 6.15 Localización de los armarios

Conjunto de recintos	Armario de colectores	Circuito	Recinto	Planta
Vivienda 3 dormitorios	CC 1	C 1	Baño 1	Baja
		C 2	Baño 2	
		C 3	Dorm.01	
		C 4	Dorm.02	
		C 5	Dorm.03	
		C 6	Cocina	
		C 7	Salón-comedor	
		C 8	Salón-comedor	

6.2.5.3 Diseño de circuitos. Cálculo de longitudes

La longitud de la tubería para cada circuito se calcula mediante la siguiente expresión:

$$L = A/e + 2l$$

Donde:

A = Área a climatizar cubierta por el circuito (m²).

e = Separación entre tuberías (m).

l = Distancia entre el colector y el área a climatizar (m).

Se describen, a continuación, los parámetros necesarios para el diseño de cada uno de los circuitos de la instalación:

Tabla 6.16 Parámetros de diseño.

Conjunto de recintos	Armario	Circuito	Trazado	Separación entre tuberías (cm)	S (m ²)	q calefacción (W/m ²)	q refrigeración (W/m ²)	Longitud máxima (m)	Longitud real (m)
Vivienda 3 dormitorios	CC 1	C 1	Doble serpentín	10.0	2.44	60.1		120.0	33.1
		C 2	Doble serpentín	10.0	2.67	64.3			42.5
		C 3	Espiral	15.0	8.72	58.0	46.4		77.3
		C 4	Espiral	15.0	8.64	32.0	49.0		73.6
		C 5	Espiral	15.0	8.74	38.3	43.7		72.2
		C 6	Espiral	15.0	6.29	51.7	49.0		47.3
		C 7	Espiral	15.0	11.01	40.0	43.7		77.6
		C 8	Espiral	15.0	10.09	40.0	43.7		75.9

Abreviaturas utilizadas

S	Superficie del recinto	q _{refrigeración}	Densidad de flujo térmico para refrigeración
q _{calefacción}	Densidad de flujo térmico para calefacción		

6.2.5.4 Cálculo de la temperatura de impulsión del agua

Se considera la densidad de flujo térmico para cada circuito, excepto los cuartos de baño:

$$q = KH * D q H$$

Donde:

q = Densidad de flujo térmico.

K_H = Constante que depende de las siguientes variables:

- Suelo (espesor del revestimiento y conductividad).
- Losa de cemento (espesor y conductividad).
- Tubería (diámetro exterior, incluido el revestimiento, espesor y conductividad).

θ_H = Desviación media de la temperatura aire-agua, que depende de las siguientes variables:

- Temperatura de impulsión.
- Temperatura de retorno.
- Temperatura del recinto.

En el anexo de la Norma UNE-EN 1264 aparece la formulación utilizada en el cálculo de la temperatura de impulsión a partir de la máxima densidad de flujo térmico.

Para el resto de recintos se debe utilizar la misma formulación, siendo la temperatura de retorno de cada uno de los circuitos el valor calculado.

Tabla 6.17 Resultados.

Circuito	θ_V calefacción (°C)	θ_R calefacción (°C)	P_{inst} calefacción (W)	P_{req} calefacción (W)	θ_V refrig. (°C)	θ_R refrig. (°C)	P_{inst} refrig. (W)	P_{req} refrig. (W)			
C 1	32.4	27.4	146.5	86.4	13.9						
C 2		28.4	171.8	152.7							
C 3		27.4	505.1	505.1					17.9	404.3	163.3
C 4		21.7	276.8	268.3					16.9	423.4	320.4
C 5		22.7	335.1	332.4		18.9	381.8	302.9			
C 6		25.7	325.2	325.1		16.9	308.1	308.1			
C 7		23.1	440.3	437.7		18.9	480.6	385.7			
C 8		23.1	403.7	401.3		18.9	440.7	353.7			

Siendo

θ_V calefacción	Temperatura de impulsión calefacción	q_G	Temperatura de impulsión refrigeración
θ_R calefacción	Temperatura de retorno calefacción	q_G	Temperatura de retorno refrigeración
P_{inst} calefacción	Potencia instalada de calefacción	q_G	Potencia instalada de refrigeración
P_{req} calefacción	Potencia requerida de calefacción		Potencia requerida de refrigeración

6.2.5.5 Cálculo del caudal de agua de los circuitos

El caudal del circuito se calcula con la siguiente expresión:

$$m_H = ((A_F * q) / (\sigma * c_w)) * ((1 + (R_o/R_u) + (\theta_i - \theta_u) / (q * R_u))$$

Donde:

A_F = Superficie cubierta por el circuito de suelo radiante.

q = Densidad de flujo térmico.

σ = Salto de temperatura.

c_w = Calor específico del agua.

R_o = Resistencia térmica parcial ascendente del suelo.

R_u = Resistencia térmica parcial descendente del suelo.

θ_H = Temperatura del recinto inferior.

θ_i = Temperatura del recinto.

Se calculan los valores de las resistencias térmicas:

$$R_o = 1/\alpha + R_{\lambda,B} + S_u/\lambda_u$$

Siendo $1/\alpha = 0,039m^2 * K/W$

$$R_U = R_{\lambda,1} + R_{\lambda,2} + R_{\lambda,3} + R_{\alpha,4}$$

Siendo $R_{\alpha,4} = 0,17m^2 * K/W$

Donde:

$R_{\lambda,B}$ = Resistencia térmica del revestimiento del suelo.

S_u = Espesor, por encima del tubo, de la capa de soporte de la carga y de difusión térmica.

λ_u = Conductividad térmica de la capa de soporte de la carga y de difusión térmica.

$R_{\lambda,1}$ = Resistencia térmica del aislante.

$R_{\lambda,2}$ = Resistencia térmica del forjado.

$R_{\lambda,3}$ = Resistencia térmica del falso techo.

$R_{\alpha,4}$ = Resistencia térmica del techo.

6.2.6 Dimensionado

6.2.6.1 Dimensionado del circuito hidráulico

Tomando los parámetros:

- Velocidad máxima = 2,0 m/s
- Pérdida de presión máxima por unidad de longitud = 400,0 Pa/m

Tabla 6.18 Cálculo de la instalación.

Conjunto de recintos	Armario de colectores	Tipo	Circuito	\varnothing_N (mm)	Caudal calefacción (l/h)	ΔP calefacción (kPa)	Caudal refrigeración (l/h)	ΔP refrigeración (kPa)
Vivienda 3 dormitorios	CC 1	Tipo 1	C 1	16	32.29	0.6		
			C 2	16	45.73	1.3		
			C 3	16	107.69	10.2	105.68	11.5
			C 4	16	29.55	1.1	147.97	19.2
			C 5	16	39.22	1.8	80.11	6.8
			C 6	16	54.10	2.0	107.67	7.2
			C 7	16	50.73	2.9	100.50	10.6
			C 8	16	46.51	2.5	92.14	9.0

Siendo			
\varnothing_N	Diámetro nominal	Caudal refrigeración	Caudal del circuito refrigeración
Caudal calefacción	Caudal del circuito calefacción	ΔP refrigeración	Pérdida de presión del circuito refrigeración
ΔP calefacción	Pérdida de presión del circuito calefacción		

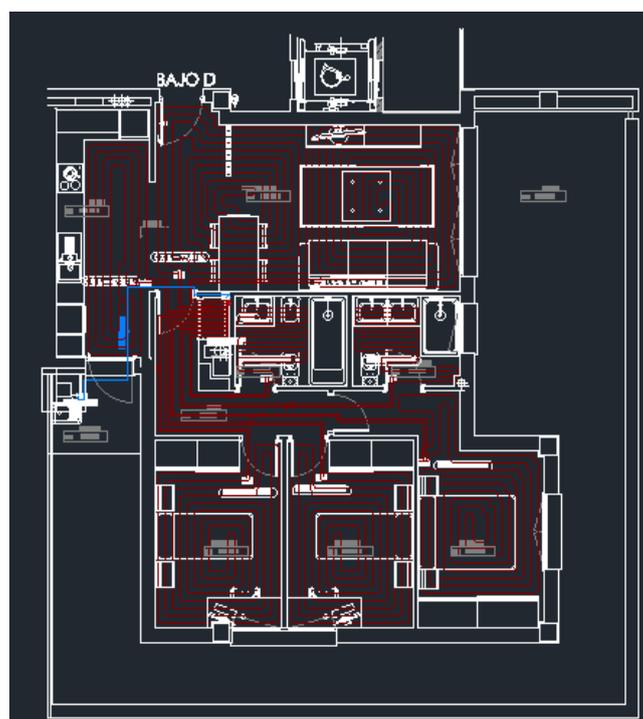


Figura 6.36 Plano de la vivienda con la distribución de los elementos emisores

6.3 FANCOILS

6.3.1 Introducción

El uso de fancoils en instalaciones de climatización centralizadas como elementos terminales, tanto principales como de apoyo, constituye una solución interesante desde el punto de vista de la eficiencia, el confort, la versatilidad y la facilidad de instalación.

Un fancoil es un equipo agua-aire que consta de una o dos baterías de agua de tubos aleteados (intercambiadores de calor), filtros, bandeja de condensados y un ventilador que fuerza al aire de la habitación a intercambiar energía con el agua que atraviesa la batería. Pueden disponer adicionalmente de una toma para aire exterior (primario), el cual puede venir ya tratado (o parcialmente tratado) de una UTA o no.

La cantidad de agua que pasa a través de la batería se regulará mediante una válvula de dos vías (instalaciones a caudal variable) o tres vías (instalaciones a caudal constante).

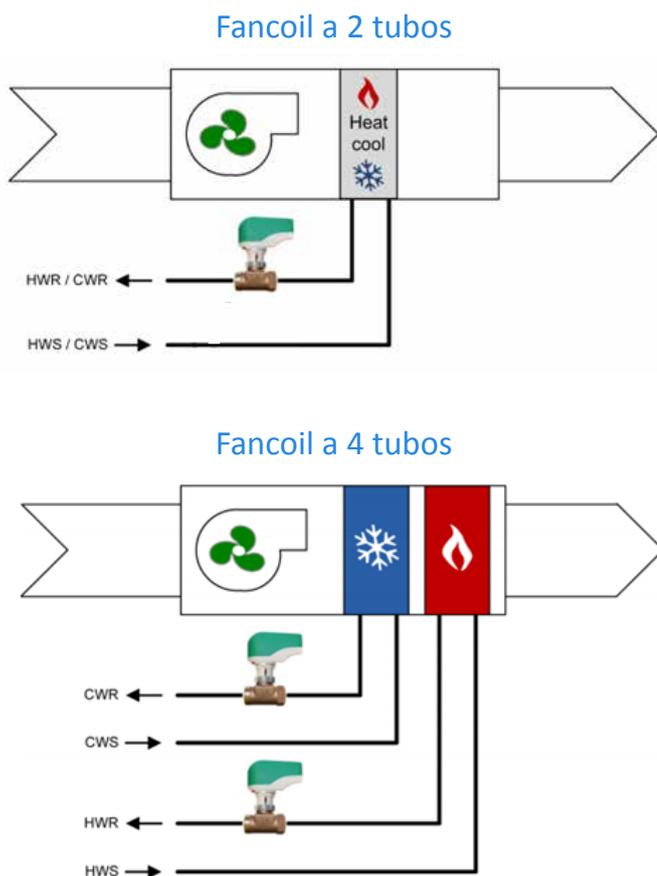


Figura 6.37 Fancoils a 2 y 4 tubos.

En instalaciones a 4 tubos (fancoil con dos baterías de agua), distintas zonas tendrán la posibilidad de trabajar en refrigeración o en calefacción de manera simultánea independien-

temente del modo de trabajo de las demás, mientras que en instalaciones a 2 tubos (fancoil con una batería de agua), todas las zonas trabajarán en el mismo modo de funcionamiento (calefacción o refrigeración).

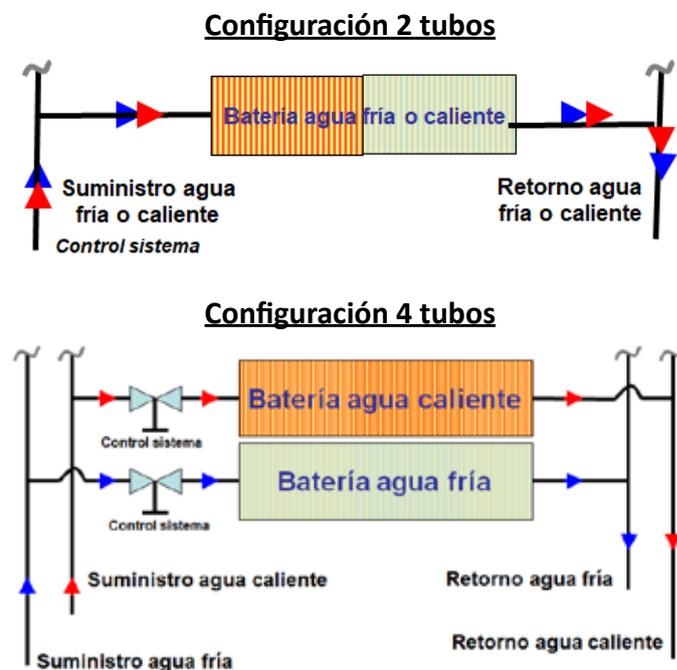


Figura 6.38 Detalle de conexión de baterías a 2 y 4 tubos.

Principalmente, los fancoils se clasifican en función del número de baterías de agua (dos o cuatro tubos), aspecto exterior (carcasa), potencia térmica y tipo de ventilador (Inverter o AC).

A la hora de seleccionar un fancoil debemos hacernos una serie de preguntas antes que condicionarán el tipo y modelo de equipo a elegir. Algunos de los aspectos a tener en cuenta vendrán ya condicionados por la instalación (caudal constante o variable), el espacio disponible y la potencia térmica necesaria. Otros, como la estética del fancoil, responderán a criterios más subjetivos.

Por lo tanto, debemos respondernos algunas de las siguientes preguntas a la hora de tomar una decisión en este punto:

- Instalación de agua a caudal constante (fancoils con válvula de tres vías) o a caudal variable (fancoils con válvula de dos vías).
- Potencia térmica necesaria para acondicionar el o los espacios sobre los que trabajará el equipo. Carga térmica de refrigeración (sensible y latente) y carga térmica de calefacción.
- Temperatura de consigna del espacio a tratar y temperatura de aire de impulsión.
- Temperaturas de impulsión del agua y salto térmico entre ida y retorno.

- E. Caudal y presión disponible en el ventilador para garantizar una correcta difusión del aire.
- F. Nivel sonoro máximo permitido o deseado.
- G. Interrelación con el aporte de aire de renovación. Saber si el aire exterior proveniente de la UTA se aportará directamente al fancoil y en qué condiciones de temperatura y humedad condicionarán el tamaño de la batería y la arquitectura interna del equipo.

El caudal de agua que pasará a través de la batería vendrá determinado por la carga total y el salto térmico entre la temperatura de impulsión de agua al fancoil y la de retorno (salto térmico de agua). Este valor suele ser 5°C.

$$\text{Caudal de agua} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] = \frac{\text{Carga térmica total [kW]} \cdot \text{volumen específico agua} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right]}{C_{p \text{ agua}} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right] \cdot (\Delta T_{\text{agua}}) [\text{K}]}$$

6.3.2 Selección de equipos

En función de la carga térmica de calefacción y de la carga sensible de refrigeración se calculará el caudal de aire de impulsión para combatir la carga térmica:

$$\text{Caudal de aire} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] = \frac{\text{Carga térmica [kW]} \cdot \text{volumen específico aire impulsión} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right]}{C_{p \text{ aire}} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right] \cdot (T_{\text{entrada de aire}} - T_{\text{impulsión aire}}) [\text{K}]}$$

La carga total en refrigeración será la suma de la carga sensible y la carga latente.

Habitualmente, los datos de potencia térmica y nivel sonoro publicados en los catálogos de los fabricantes vienen expresados en condiciones Eurovent.

Por ello, se recomienda emplear los programas de selección de los que disponen muchos fabricantes para poder elegir el modelo correcto en las condiciones de trabajo reales deseadas. Además, estos programas tienen en cuenta las características constructivas de cada batería, como el factor de by-pass.

Model	SPEED	Vin	PT	PS	QW [C]	DPW [C]	TA [C]	PH	QW [H]	DPW [H]	TA [H]	LW	LP	Pin
	RPM	V	W	W	l/h	kPa	°C	W	l/h	kPa	°C	dB(A)	dB(A)	W
FWP 02	850	6,8	2000	1450	343	5	12,0	2130	370	5	41,1	41,9	27,9	14,6
FWP 03	850	6,8	2410	1660	414	9	9,9	2310	402	7	42,9	42,0	28,0	14,6
FWP 04	850	6,8	2630	1770	452	7	8,8	2450	426	5	44,3	42,0	28,0	14,6
FWP 05	850	5,7	2120	1520	363	3	11,3	2250	392	3	42,3	33,5	19,5	12,2
FWP 06	850	5,7	2430	1670	416	2	9,8	2350	409	1	43,3	< 36,0	< 22,0	12,2
FWP 07	850	5,7	2670	1780	458	3	8,6	2450	427	2	44,3	< 36,0	< 22,0	12,2

Figura 6.39 Programa de selección de fancoils. Cortesía de Daikin AC. .Spain.

6.3.3 Clasificación en función de su aspecto exterior o carcasa

A la hora de decidir qué tipo de fancoil necesitamos, uno de los primeros criterios que deberemos tener en cuenta será el espacio disponible para su instalación, así como la estética.

En el mercado encontraremos gran variedad de modelos, de distintas potencias y configuraciones y bajo carcasas distintas, que condicionarán la manera de entregar la potencia térmica a la instalación así como los requerimientos donde ser emplazados.



Figura 6.40 Distintos tipos de fancoil en función de su aspecto exterior.

I. Fancoils de techo

Estos fancoils, también conocidos como fancoils de o para conductos, se ubican en el falso techo y se acoplan a una red de conductos que lleva el aire tratado a las distintas estancias a climatizar. Permiten dejar libre el máximo espacio en techos y paredes para mobiliario, decoración y otros complementos.

Es recomendable la instalación de este tipo de unidades interiores en el falso techo de baños o aseos, ya que debe disponerse de un techo desmontable que garantice una accesibilidad fácil al tren de ventilación, bandeja, filtros y cuadro eléctrico. El drenaje debe conducirse correctamente respetando el diámetro correspondiente.



Figura 6.41 Fancoils de techo.

II. Fancoils de pared

Similares a una unidad interior de expansión directa tipo Split, se ubican en la estancia a climatizar y no requieren de elementos de difusión. El registro de acceso es sencillo y no requieren grandes espacios de servicio.



Figura 6.42. Fancoils de pared.

III. Fancoils de suelo

Estos modelos podremos encontrarlos con y sin carrozar, y son de fácil ubicación. Requieren de un espacio de instalación similar a un radiador y son una opción habitual en reformas de viviendas al no requerir grandes espacios de servicio.



Figura 6.43 Fancoils de suelo con envolvente.

IV. Fancoils de cassette

Estos equipos se empotran en el falso techo dejando a la vista únicamente el panel inferior con las lamas para impulsión de aire y retorno. Gracias a su facilidad de instalación e integración en techos técnicos, estos modelos se utilizan habitualmente en oficinas y espacios comunes diáfanos.



Figura 6.44 Fancoils de cassette.

Existen modelos tipo Round-Flow que, gracias a una única lama corrida, permiten batir 360º garantizando una mejor difusión del aire y evitando puntos ciegos, con el consiguiente aumento del confort.

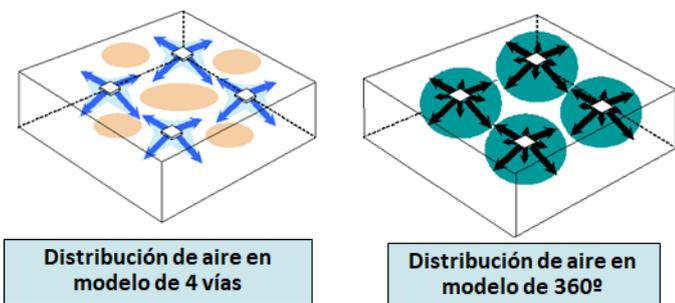


Figura 6.45 Distribución de aire en fancoils de cassette de 4 vías y Round-Flow.

6.3.4 Avances en la regulación de los ventiladores para fancoils

La introducción hace ya algunos años de la tecnología inverter en la regulación de la velocidad de los ventiladores (motores conmutados electrónicamente -EC-) ha supuesto, como ya ocurrió con los compresores, una mejora importante en los valores de eficiencia de estos sistemas, permitiendo reducir hasta en un 70% la potencia eléctrica consumida por el ventilador.

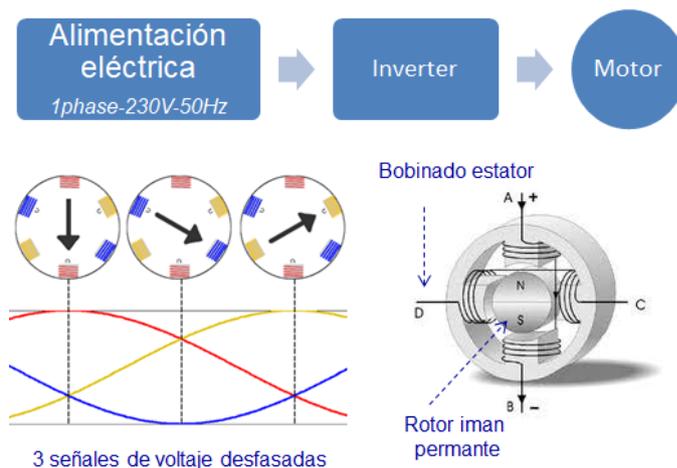


Figura 6.46 Funcionamiento de un motor con tecnología inverter.

Reducción de hasta un 70% del consumo de energía

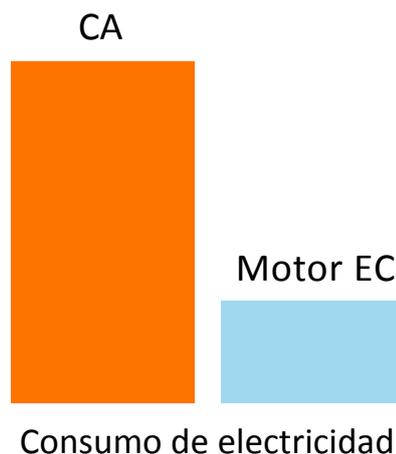


Figura 6.47 Comparativa de consumos.

La variación continua de la velocidad del ventilador repercute no solo en la mejora de eficiencia ya comentada, sino también en un menor nivel sonoro (ventiladores más silenciosos) y una temperatura ambiente más estable, con menos fluctuaciones entre la temperatura de consigna y la real.

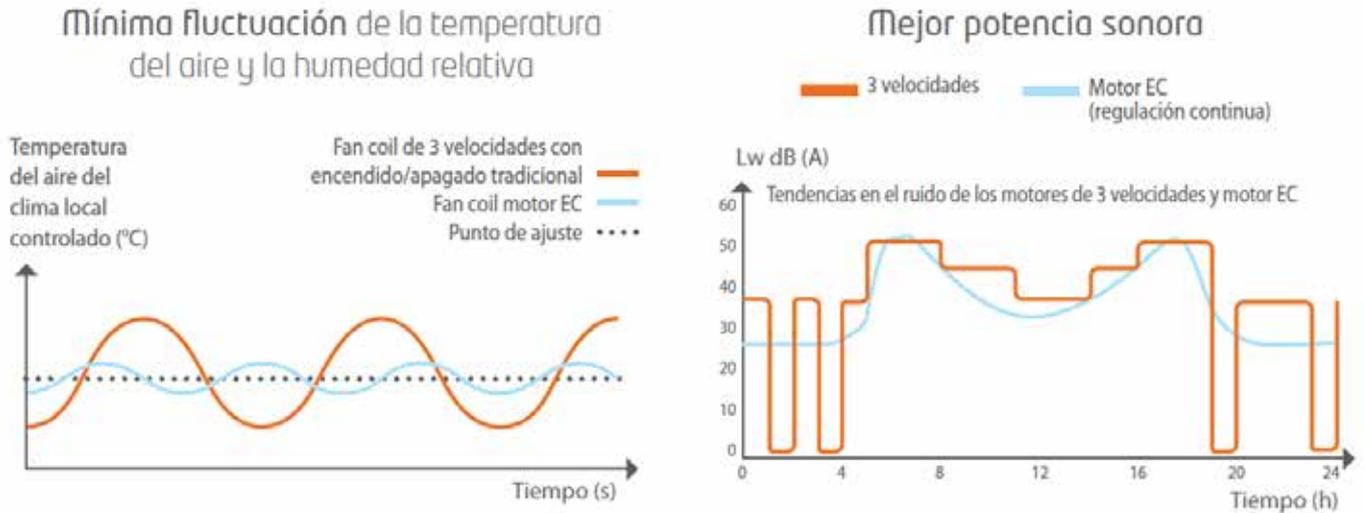


Figura 6.48 Comparativas entre fancoils de 3 velocidades y fancoil motor EC. Fluctuación de la temperatura del aire y humedad relativa. Nivel sonoro.

Mediante un control 0-10V, este tipo de fancoils ofrecen una regulación continua en todo momento del caudal de aire de impulsión. Los motores BLDC permiten también adaptar la curva de trabajo del ventilador a la de la instalación, evitando un consumo innecesario de energía y minimizando el nivel sonoro.

TECNOLOGIA BLDC

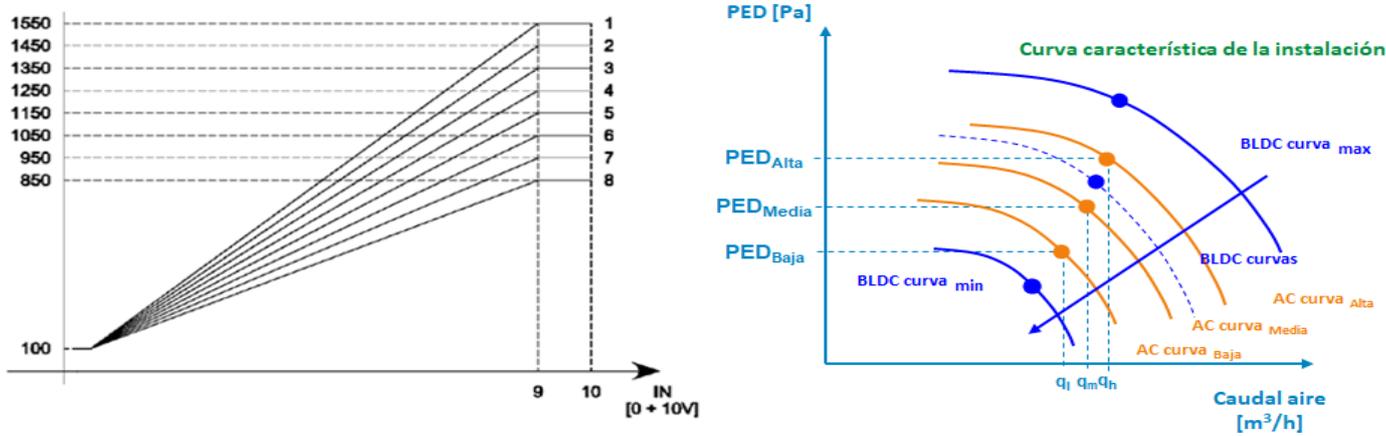


Figura 6.49 Curva característica de la instalación para la tecnología motor CC sin escobillas (BLDC)

■ CAPÍTULO 7

REGULACIÓN Y CONTROL DE LAS INSTALACIONES



7 REGULACIÓN Y CONTROL DE LAS INSTALACIONES

7.1 Introducción

En primer lugar, se define el término “termohigrométrico” en el ámbito de la climatización de edificios, como el conjunto de las condiciones físicas que intervienen en el confort térmico de las personas en el interior de un espacio. Estas son: temperatura operativa (aire y radiante), humedad y ventilación. En el presente capítulo se analizan los sistemas de regulación y control que atienden al control de la temperatura y, adicionalmente cuando el sistema radiante funcione en modo refrigeración, a la humedad también.

El control termostático tiene como misión que el sistema de climatización alcance las temperaturas interiores de diseño/ confort en los recintos según las variaciones de las cargas internas y las variaciones de clima externo. Adicionalmente el control y regulación del sistema de climatización debe ayudar a gestionar los sistemas de climatización con eficiencia.

Por estas razones, el control termostático cobra especial importancia la sectorización y el conocimiento exhaustivo de la envolvente y cargas del edificio. De esta manera se evitarán sobre calentamientos o sobre-enfriamientos de los recintos que resten eficiencia a las instalaciones.

7.1.1 Descripción general y clasificación

Dentro de la gama de controles se puede realizar una clasificación por nivel de zonificación:

- A. Individual: recinto a recinto.
- B. Zonal: recoge varias zonas con demandas similares y actúa sobre ellas en conjunto.
- C. Central: toda la instalación depende de un control central que no discrimina las diferentes necesidades de los recintos.

Según el tipo de proyecto que se diseñe se debe seleccionar un tipo de regulación, según se muestra en la tabla 7.1.

Cuando en un proyecto se busca la eficiencia y el control de consumo se debe zonificar el control de la forma más individual posible, ya que esto permitirá ajustar el consumo a las necesidades de forma estricta. Cuantos más recintos se agrupan, menos se podrá afinar el consumo por que habrá una tendencia a perder eficiencia y confort en la instalación. Esto es especialmente sensible en las viviendas, ya que las necesidades requeridas por los usuarios en diferentes estancias suelen diferir y por tanto se recomienda un control termostático estancia por estancia.

En la tabla 7.2 se presenta el funcionamiento del control, que puede establecerse a partir de la siguiente clasificación:

- A. Manual
- B. Automático
- C. Programable
- D. Programable con capacidades avanzadas de análisis.

Tabla 7.1 Tipos de regulación según zonificación.

Zonificación de la regulación	Tipo de proyectos	Tipo de edificio
Individual	Residencial	<ul style="list-style-type: none"> • Unifamiliar • Plurifamiliar • Residencial (Hotelero)
Zonal	No residencial	<ul style="list-style-type: none"> • Locales y oficinas • Comercial • Administrativo • Publica concurrencia • Docente • Hospitalario
Central	Uso industrial	<ul style="list-style-type: none"> • Naves industriales • Hangares aviación

Tabla 7.2 Características de los tipos de regulación.

Funcionamiento de la regulación	Ventajas	Inconvenientes
Manual	Mantenimiento sencillo	Consumos altos
	Manejo básico	Falta de confort
Automático	Mantenimiento sencillo	Sobre calentamiento/ sobre enfriamiento de las estancias.
	Manejo básico	Consumos altos
Programable	No necesita intervención /manipulación.	Falta de confort
	Adaptable a horarios y rutinas particulares.	No se adapta a horarios particulares
Programable con capacidades avanzadas de análisis	Optimización de uso de equipos de producción, programando su uso bajo tarifas energéticas favorables.	Manejo complejo
	Adaptable a horarios y rutinas particulares	Configuración compleja
Programable con capacidades avanzadas de análisis	Optimización de uso de equipos de producción, aprovechando por ejemplo tarifas de energía más favorables.	Control e interconexión complejo
	Permite reaccionar a particularidades estacionales.	Manejo complejo o necesidad de certificación para control total de las funcionalidades
	Posibilidad de integración con otros sistemas de control	

7.2 Regulación y control de instalaciones radiantes

El control y regulación termostático de las instalaciones radiantes deben estar específicamente adaptado al funcionamiento de una instalación inercial. Los tiempos de respuesta de sistemas inerciales exigen conocer el comportamiento del recinto para adelantar el funcionamiento del sistema a los posibles picos de carga predecibles.

7.2.1 Control de la producción.

El principal control que se debe hacer sobre los sistemas de producción de climatización, debe tener como estrategia principal la optimización de la solución global de climatización: Producción, distribución y elementos terminales.

De la misma manera que, de forma general, se pueden clasificar los controles para climatización en: manual, automáticos o programables, para el control de la producción en climatización radiante, se pueden encontrar controles simples que solo realicen el apagado o encendido dentro de unos horarios establecidos o a demanda del usuario de la instalación, pero estos controles, siempre que se sitúen en instalaciones

duales, es decir que incorporen refrigeración y calefacción, deben tener en cuenta siempre el riesgo de condensación cuando está en modo de refrigeración, e incorporar para evitar riesgos controles de humedad relativa interior y de forma preventiva impulsar entre 0.5 y 1°C por encima de la temperatura de condensación.

La evolución de los controles, de manera general, debe ir dirigida a que la instalación incorpore la autonomía para adaptarse a la evolución de las condiciones internas y externas del recinto.

En las instalaciones radiantes se deben incorporar sistemas que adapten la temperatura del circuito de suelo radiante, teniendo en cuenta las condiciones climatológicas exteriores e interiores, aprendiendo de forma rápida e inteligente cuánto tardan los recintos en calentarse y enfriarse y utilizando esta información para anticiparse a su comportamiento y ahorrar energía.

7.2.2 Control termostático

El control termostático está conformado por los elementos que se presentan en la figura 7.1 y que se describen a continuación.

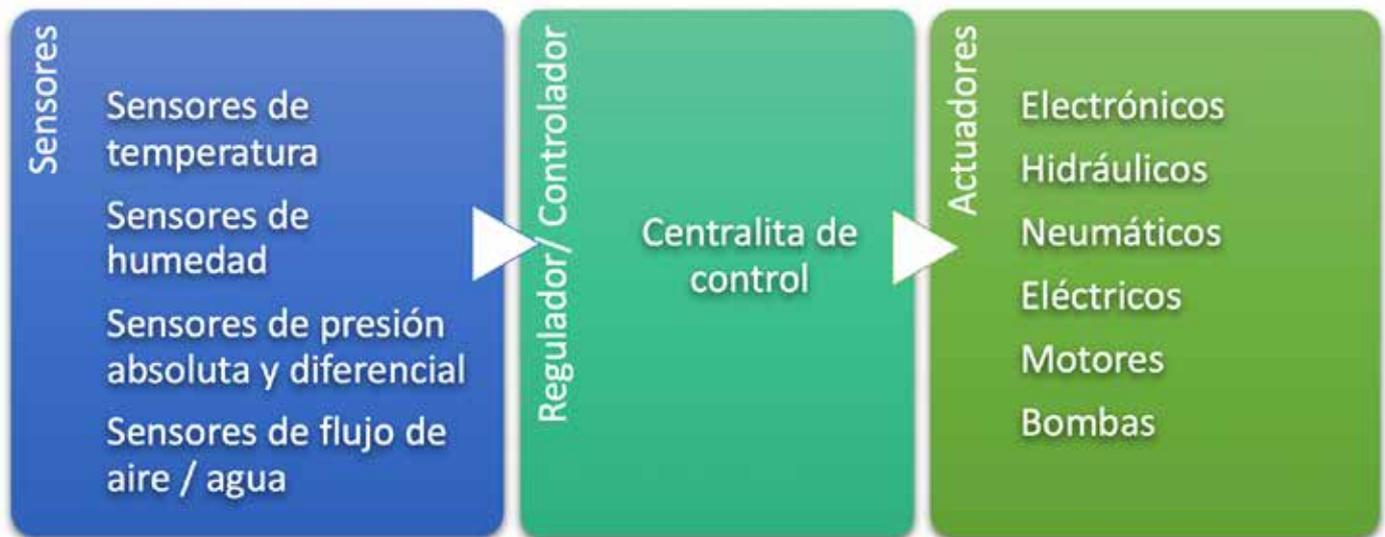


Figura 7.1 Elementos que intervienen en el control termostático.

Sensores: Son los dispositivos que recogen las “variables de instrumentación” y las transforman en variables eléctricas para entregarlas al sistema de control, de forma que el sistema de control las pueda procesar aplicando una lógica programada. En un sistema de climatización, los sensores son de temperatura, de humedad, de velocidad del aire, de nivel de CO₂, etc., su función es transformar un parámetro o estado físico del entorno que nos rodea en la información necesaria por el sistema de control.

- A. Sensores que se emplean en sistemas de climatización interiores
 - Sensores de temperatura.
 - Sensores de humedad
 - Sensores de presión absoluta y diferencial
 - Sensores de flujo de aire, caudal de agua
- B. Sensores exteriores
 - Sensores de radiación solar.
 - Velocidad y dirección del viento.
 - Pluviometría y lluvia.
 - Presión atmosférica

Los actuadores: Son dispositivos que, siguiendo las órdenes del sistema de control, realizan acciones necesarias para mantener el confort en el interior de los recintos, por ejemplo: la activación de servomotores de circuitos, relés, válvulas, indicadores luminosos, etc. En muchos casos el actuador es un dispositivo que pone en marcha alguno de estos equipos.

El sistema de control recibe, gestiona y procesa la información del recinto y actúa sobre él por medio de los actuadores. El sistema de control es el encargado de llevar a cabo la estrategia de control diseñada por el programador, gestor o usuario de la instalación.

Dentro de la gama de sistemas de control se pueden encontrar desde simples programadores a interfaces más complejos con inteligencias capaces de anticipar cambios climatológicos mediante predicciones o mediciones exteriores.

7.3 Estrategia de control

Existen diferentes estrategias para controlar la temperatura del agua en una instalación de suelo radiante.

- A. Temperatura constante del agua con suministro constante.
- B. Temperatura variable en función de la temperatura interior.
- C. Ajuste de la temperatura del caudal circulante del agua en función de la temperatura exterior.
- D. Caudal variable con suministro de agua a temperatura constante.
- E. Temperatura constante del suelo.

7.3.1 Temperatura constante del agua con suministro constante

Este sistema es para usarse solo cuando el sistema radiante se utiliza como una climatización secundaria. Tan solo va a satisfacer la demanda de climatización básica mínima, con lo que se necesita de otro sistema de climatización que controle la temperatura ambiente. Si la temperatura de una habitación está predeterminada, la temperatura del agua de suministro debe de establecerse 2 o 3°C por debajo/encima de la climatización básica mínima, con lo que necesitaremos otro sistema que controle la temperatura ambiente.

7.3.2 Temperatura variable en función de la temperatura interior

El sistema de control de la temperatura interior es una de las mejores técnicas a utilizar en edificios residenciales, debido a que la mayoría de los edificios tienen una inercia térmica muy alta. Esto significa que un cambio rápido en la temperatura exterior iniciará un cambio muy lento en la temperatura interior y pueden pasar varias horas antes de que cambie la temperatura interior. En otras palabras, un control de temperatura interior armonizará con la inercia térmica de la casa. El uso de este sistema de control minimiza los riesgos de picos térmicos, tanto por encima como por debajo de la temperatura deseada en el interior.

7.3.3 Ajuste de la temperatura del caudal circulante del agua en función de la temperatura exterior

Esta estrategia de control permite trabajar con una curva de temperatura de agua de impulsión predeterminado en función de la temperatura exterior.

La ventaja principal aquí es que, si se produce un aumento de la temperatura exterior, el sistema de control inmediatamente bajará la temperatura del agua de suministro, reduciendo así al mínimo la pérdida de calor. Por otro lado, una disminución de la temperatura exterior siempre creará un pico de temperatura en el interior.

7.3.4 Caudal variable con suministro de agua a temperatura constante

La cesión de calor puede estimarse midiendo la diferencia entre la temperatura suministrada y las temperaturas de retorno de la instalación de calefacción. Una gran diferencia de temperatura significaría una deficiencia en el suministro de calor y una diferencia de temperatura pequeña significaría una cesión de calor.

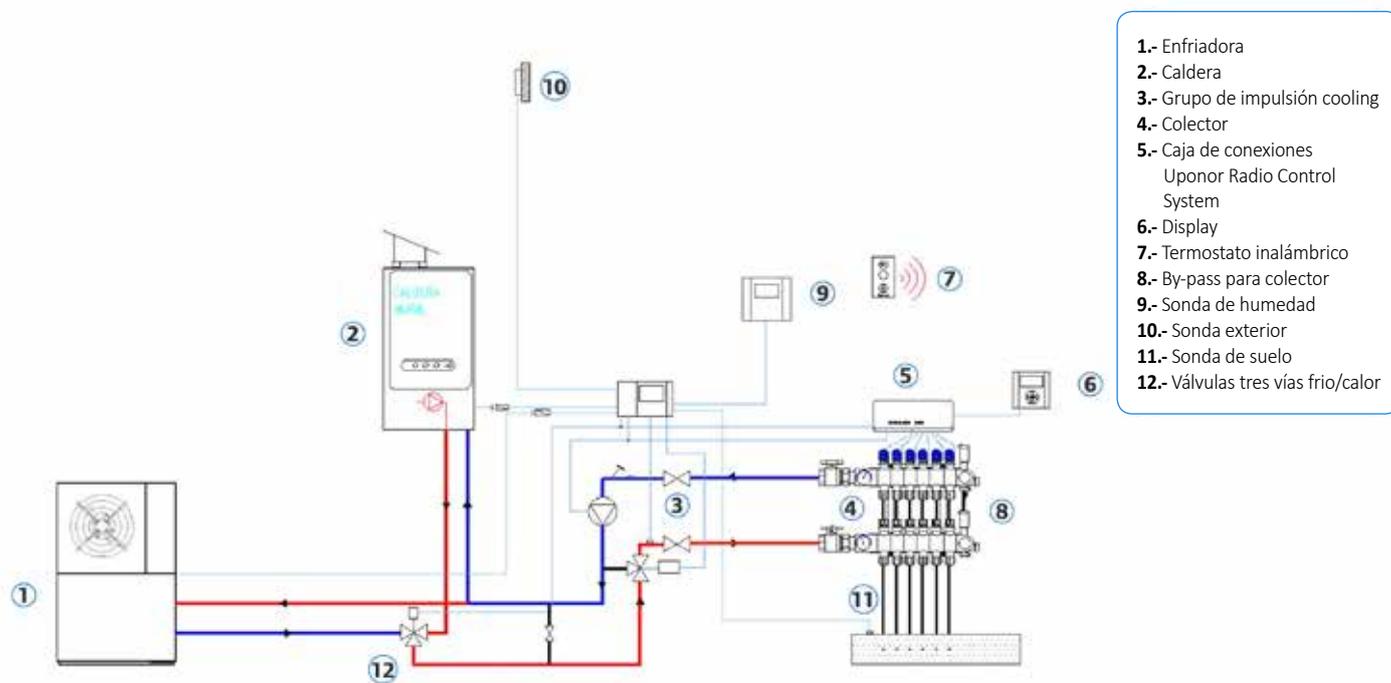
7.3.5 Temperatura constante del suelo

Este control se utiliza a menudo en lugares donde la temperatura de climatización es esencial, como en vestuarios, baños de piscinas, cuartos de baño, cocinas, etc.

7.3.6 Estrategias combinadas y sensores necesarios

En la mayoría de los casos han de combinarse los diferentes sistemas de control de temperatura de agua, para lograr una buena climatización interior. Por ejemplo, utilizar un control de temperatura exterior que a partir de un cierto nivel de temperatura haga que funcione un sistema (calefacción/refrigeración) mientras apaga el otro. Y combinar este control con un control de la temperatura ambiente para lograr el mejor confort interior.

En la figura 7.2 se muestra el esquema de control en una instalación que puede aportar calefacción o refrigeración utilizando una caldera y una enfriadora.



- 1.- Enfriadora
- 2.- Caldera
- 3.- Grupo de impulsión cooling
- 4.- Colector
- 5.- Caja de conexiones
Uponor Radio Control System
- 6.- Display
- 7.- Termostato inalámbrico
- 8.- By-pass para colector
- 9.- Sonda de humedad
- 10.- Sonda exterior
- 11.- Sonda de suelo
- 12.- Válvulas tres vías frío/calor

Figura 7.2 Esquema ejemplo de un control combinado mediante temperatura exterior, interior, superficie (suelo) y humedad relativa. Fuente: Uponor.

Según el modo de funcionamiento de la instalación deberemos integrar sensores que proporcionen la información necesaria de la instalación para su correcto funcionamiento.

Tabla 7.3 Tabla ejemplo de sensores para diferentes modelos de control de instalaciones radiantes.

Modo de funcionamiento	Sonda Suministro/ producción	Sonda exterior	Sonda interior	Sonda retorno	Sonda humedad relativa	Sonda suelo
Calefacción	Suministro a temperatura constante	X				
	Suministro con control de temperatura exterior	X	X			O
	Suministro con control de temperatura exterior y compensación interior.	X	X	X		
	Suministro con control del valor medio de la temperatura del agua (retorno, impulsión y consigna media)	X	X		X	
	Suministro con control de temperatura interior	X		X		
Refrigeración	Suministro a temperatura constante	X			O	O
	Suministro con control de temperatura interior	X		X	O	O
	Suministro con control de temperatura interior y temperatura de retorno (punto de rocío)	X		X	X	O
	Deshielo	X			X	O

X = necesario O = opcional

7.4 Control de la inercia térmica

La inercia térmica implica dos fenómenos, uno de ellos es el de la amortiguación en la variación de las temperaturas y otro es el retardo de la temperatura interior respecto a la exterior. En la figura 7.3 se presenta la evolución de las temperaturas dependiendo de la inercia térmica del local acondicionado.

La capacidad calorífica de las superficies radiantes con tuberías embebidas juega un rol principal en las propiedades termodinámicas del sistema de climatización y por lo tanto en la estrategia de climatización.

La respuesta de los sistemas radiantes varía principalmente de las características de la capa que rodea el elemento emisor (tuberías). Sistemas con más capacidad de acumular energía implican una respuesta lenta, por el contrario, sistemas con baja capacidad de almacenar energía, como por ejemplo los techos metálicos o los paneles de cartón-yeso radiantes tienen tiempos de respuesta muy rápidos.

La estrategia de control tiene que tener en cuenta los tiempos de carga y descarga de los sistemas para alcanzar el confort en los momentos de máxima necesidad de climatización, adelantándose al comportamiento de los recintos o bien em-

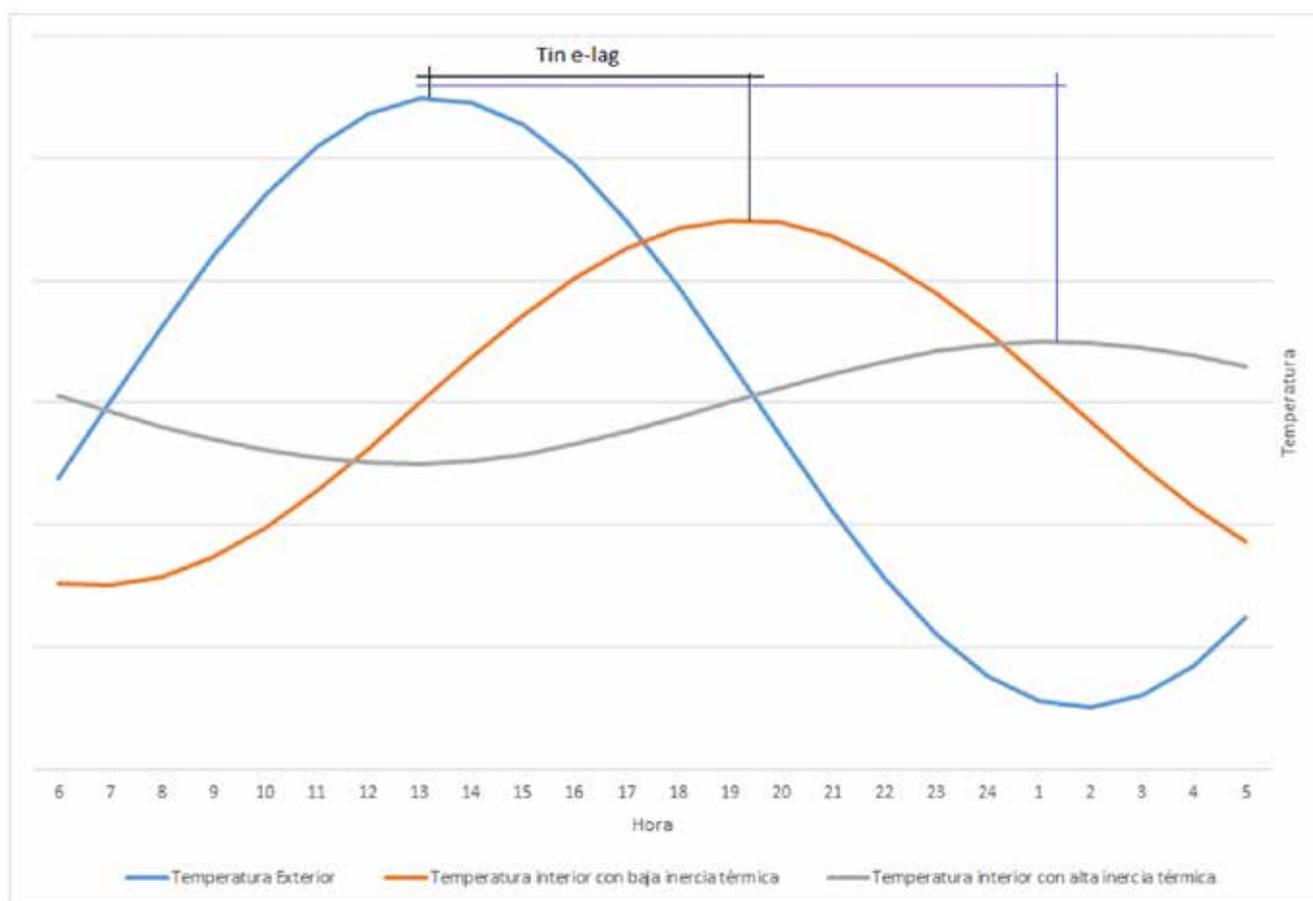


Figura 7.3 Comparación de retardo en el efecto de la temperatura exterior según la inercia de los locales.

pleando sistemas de respuesta rápida para complementar los sistemas radiantes y combatir puntas de carga. No obstante, en general en edificios terciarios cuanto mayor sea la inercia de un sistema radiante más importante es integrar un sistema de control que permita ajustarse de forma total a la curva de demanda del edificio, aprovechando al máximo el efecto inercial.

7.5 Particularidades de control sobre instalaciones de refrigeración

En espacios habitables, la capacidad de refrigeración de los sistemas radiantes vendrá determinada por la necesidad de evitar las condensaciones en las superficies de la estructura del edificio, que en la práctica se realiza limitando la temperatura de impulsión en función del punto de rocío, humedad interior y temperatura del recinto. No obstante, en zonas climáticas con altos porcentajes de humedad relativa, en edificios con estancias con alta concentración de ocupantes o en los que se realizan actividades con alta actividad metabólica, se recomienda utilizar, en paralelo al sistema radiante refrigerante, equipos que se encarguen de adecuar el porcentaje de humedad relativa en valores nunca superiores al 50%. De esta forma la temperatura de impulsión en el sistema radiante podrá bajarse sin riesgo de producir condensaciones y por tanto aumentar significativamente la potencia radiante en refrigeración.

Para esta práctica de control y reducción de la humedad relativa se recomiendan deshumidificadores o recuperadores de calor entálpicos para viviendas y UTAs (unidades de tratamiento de aire) para edificios terciarios.

La refrigeración mediante superficies radiantes incrementa la asimetría térmica y reduce la temperatura operativa del recinto. Debido a estos dos factores, se recomienda tomar precauciones limitando la reducción de la temperatura de las superficies siguiendo las limitaciones indicadas en la norma ISO 7730.

En la figura 7.4 se presenta el esquema de control en una instalación radiante refrigerante con deshumidificación.

Debido a las limitaciones para mantener el confort y evitar el riesgo de condensaciones, se deben disponer en las instalaciones de refrigeración sensores de temperatura y humedad. Además, en paralelo al sistema radiante, se integrarán equipos que se encarguen de adecuar el porcentaje de humedad relativa en valores nunca superiores al 50%. En la figura 7.5 se presenta el funcionamiento de los sistemas de enfriamiento radiante combinados con sistemas de deshumidificación, en función de la humedad del recinto.

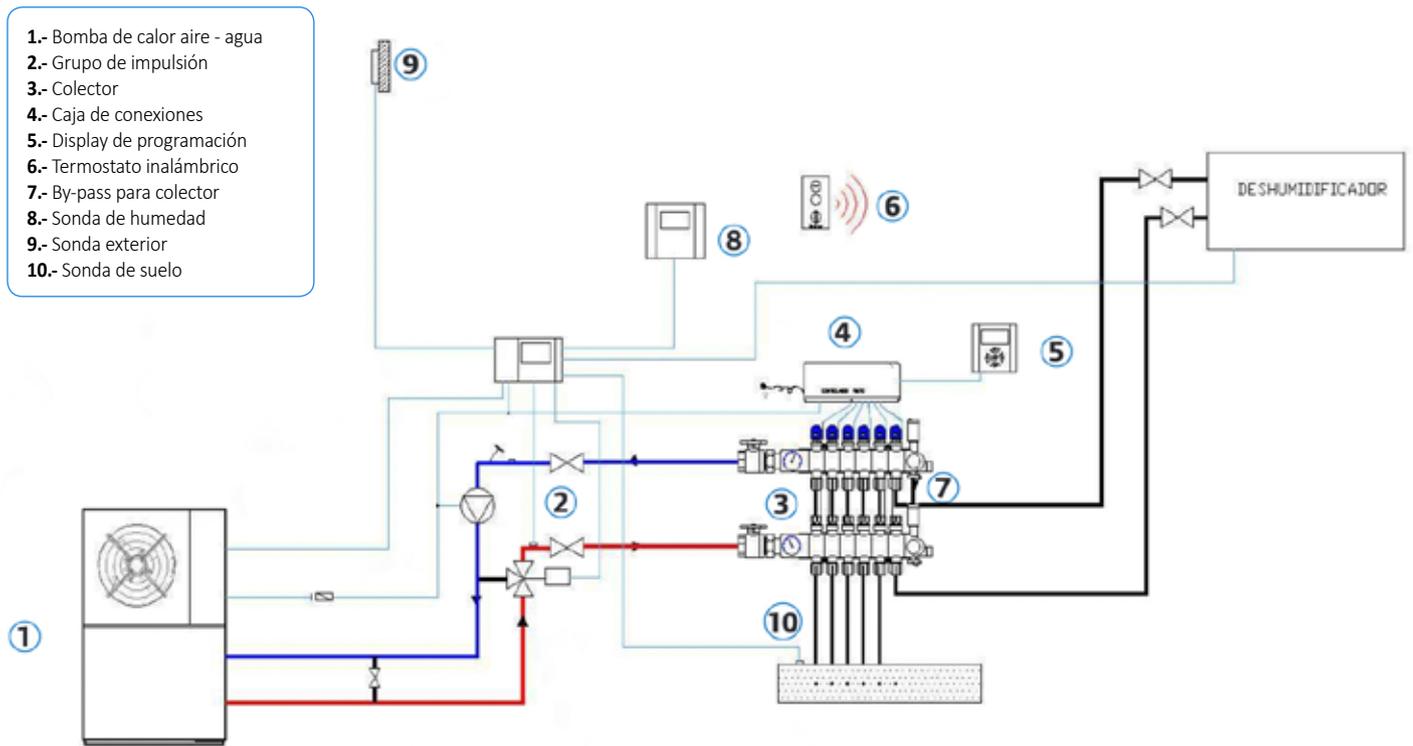


Figura 7.4 Ejemplo de un esquema de instalación con deshumificación. Fuente Uponor.

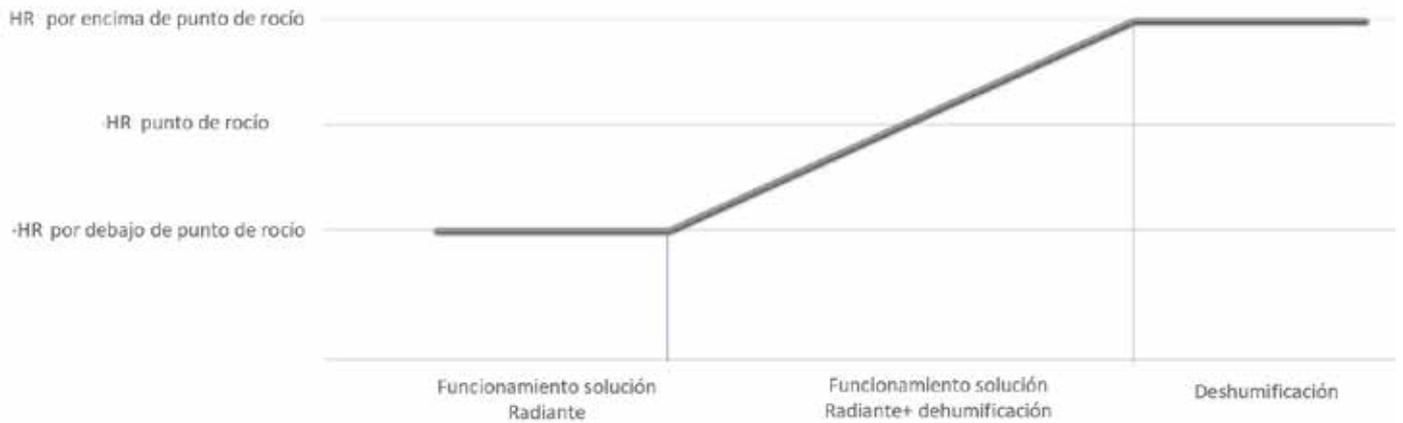


Figura 7.5 Funcionamiento de sistemas radiantes combinados con deshumificación, periodo de trabajo de cada sistema.

■ CAPÍTULO 8

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES



8 MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES

8.1 Introducción

En los anteriores capítulos de esta guía se ha hablado de las diferentes tecnologías y equipos existentes en el mercado para la producción eficiente de energía térmica, así como para su distribución, medición, regulación y control, para satisfacer las necesidades de calefacción, agua caliente y refrigeración de los edificios y sus ocupantes.

No serviría de nada diseñar instalaciones con los equipos más avanzados tecnológicamente y eficientes, si una vez construida y puesta en servicio la instalación no se hiciera un uso adecuado de la misma, adaptado la producción de energía a las necesidades reales de edificio, controlando los consumos, y operando las instalaciones con unas estrategias de gestión y mantenimiento bien definidas.

Es fundamental la realización de un adecuado mantenimiento y gestión de las instalaciones y sus consumos, para maximizar su disponibilidad y vida útil, para conseguir un funcionamiento eficiente energéticamente y seguro para las personas y para el medio ambiente, y para proporcionar a los usuarios unas condiciones ambientales adecuadas de confort y salubridad.



Figura 8.1 Telegestión de central térmica con integración de consumos

Por otro lado, es muy importante que el **mantenimiento no se limite únicamente a la central térmica de producción**, sino que **debe de hacerse un correcto mantenimiento sobre todos los elementos que componen la instalación**: generación, distribución, elementos de medición de consumos y elementos terminales (radiadores, fancoils, etc...), ya que una inadecuada manipulación sobre cualquiera de estos elementos puede afectar al funcionamiento general de la instalación y a su eficiencia energética.

Por ejemplo, el cierre masivo de válvulas termostáticas de radiador podría ocasionar efectos negativos sobre la instalación, como desequilibrios hidráulicos, problemas de circulación e incluso averías sobre las bombas circuladoras, si no se prevén los mecanismos adecuados para evitarlo.



Figura 8.2 Central térmica con calderas de gas de condensación



Figura 8.3 Colectores de distribución con bombas de caudal variable

8.2 Definiciones

Según la norma UNE-EN-13306, mantenimiento es la “combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de

gestión, durante el ciclo de vida de un elemento, destinados a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual pueda desarrollar la función requerida”.

Otra definición más amplia, en consonancia con lo dispuesto en el RITE y en concreto en su IT 3, sería la siguiente:

Mantenimiento es el “conjunto de operaciones necesarias para asegurar que el funcionamiento de las instalaciones, a lo largo de su vida útil, se realice con la máxima eficiencia energética, garantizando la seguridad, la durabilidad y la protección del medioambiente, así como las exigencias establecidas en el proyecto o memoria técnica de la instalación final realizada”.

Las principales ventajas derivadas de realizar un correcto mantenimiento son las siguientes:

- A. Confort y calidad del aire interior
- B. Aumento de la disponibilidad y vida útil de los equipos
- C. Reducción de paradas imprevistas ocasionadas por averías
- D. Ahorro energético
- E. Ahorro de costes
- F. Mejora de la seguridad
- G. Protección de medio ambiente

8.3 Responsabilidad del mantenimiento

El Real Decreto 238/2013, de 5 de abril, por el que se modifican determinados artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, responsabiliza de forma clara e inequívoca al titular de la instalación de realizar las siguientes acciones:

- A. El mantenimiento de la instalación térmica por una empresa mantenedora habilitada.
- B. La realización de las inspecciones obligatorias.
- C. La conservación de la documentación de todas las actuaciones, ya sean de mantenimiento, reparación, reforma o inspecciones realizadas en la instalación térmica o sus equipos, consignándolas en el Libro del Edificio.

Es decir, la responsabilidad de la puesta en práctica de todos los trabajos de mantenimiento especificados reglamentariamente recae sobre los titulares de las instalaciones, y por eso es tan importante que la empresa encargada de diseñar los programas de mantenimiento y los procedimientos de control de la información generada sea una empresa de mantenimiento autorizada, y que al mismo tiempo cuente con la máxima solvencia técnica y experiencia.



Figura 8.4 Equipo autónomo de gas ubicado en cubierta

8.4 Estrategias de mantenimiento

La norma UNE-EN 13306 divide el mantenimiento en dos tipos, mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo, diferenciando básicamente el mantenimiento que se realiza antes de manifestarse una avería del que se realiza una vez que la avería se ha producido.

- I. **Mantenimiento preventivo:** “mantenimiento ejecutado a intervalos predeterminados o de acuerdo con unos criterios prescritos, y destinado a reducir la probabilidad de fallo o la degradación de funcionamiento de un elemento”.
 - a. Mantenimiento sistemático: “mantenimiento preventivo ejecutado de acuerdo a unos intervalos de tiempo establecidos, o a un número de unidades de uso, pero sin investigación previa de la condición del elemento”.

Este tipo de mantenimiento puede incluir las operaciones periódicas y planificadas de inspección, supervisión, monitorización, verificación, revisión, regulación, ajuste, puesta a punto, y sustitución sistemática de consumibles y/o componentes, necesarias para asegurar el funcionamiento fiable de las instalaciones, y maximizar su disponibilidad, eficiencia energética y seguridad.

- b. Mantenimiento predictivo (o basado en la condición): “mantenimiento preventivo basado en el conocimiento del estado de un elemento por medición periódica o continua de algún parámetro significativo”.

Dicho de otro modo, consiste en la realización de un conjunto de operaciones de diagnóstico y seguimiento, con el objetivo de detectar posibles fallas antes de que se produzcan.

- II. **Mantenimiento correctivo:** “mantenimiento ejecutado después del reconocimiento de una avería, y destinado a llevar un elemento a un estado en el que pueda desarrollar una función requerida”.

Este a su vez se divide en dos, en función de la urgencia de la intervención y si el trabajo puede o no puede programarse.

- a. Diferido o programable: “mantenimiento correctivo que no se realiza inmediatamente después de detectarse una avería, sino que se retrasa de acuerdo con reglas dadas”.
- b. Inmediato: “mantenimiento correctivo que se realiza sin dilación después de detectarse una avería, a fin de evitar consecuencias inaceptables”.

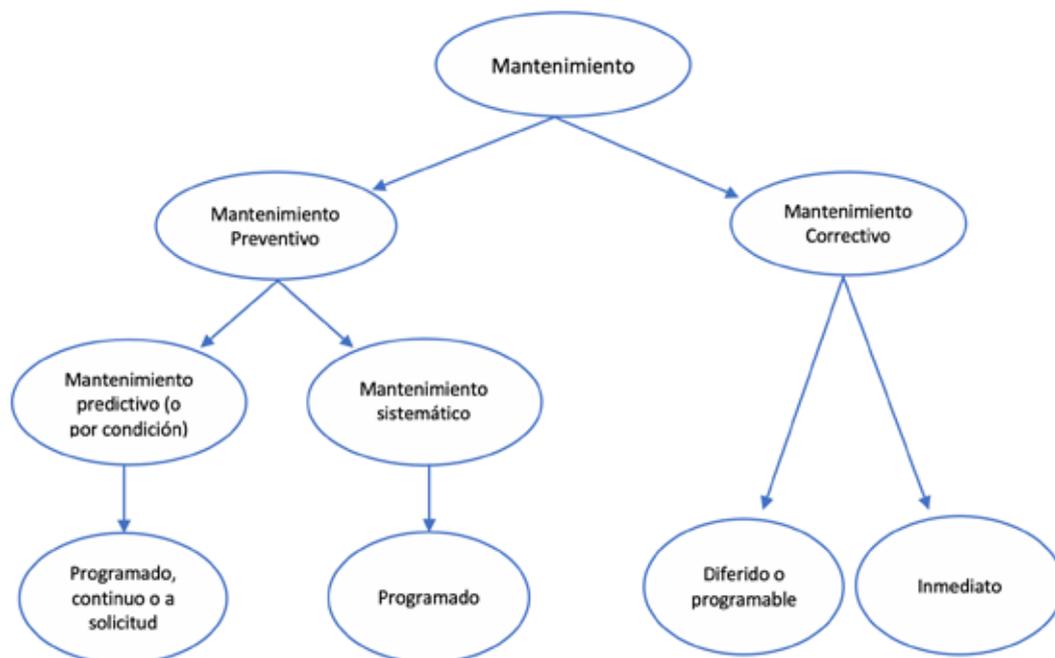


Figura 8.5 Clasificación del mantenimiento según UNE-EN 13306

III. Mantenimiento técnico-legal: conjunto de actuaciones preventivas y correctivas necesarias para dar cumplimiento a las especificaciones establecidas por reglamentos o normas de obligado cumplimiento.

IV. Mantenimiento conductivo: conjunto de actividades correspondientes a la gestión técnica y al uso diario y sistemático de las instalaciones, incluidas las actuaciones de mantenimiento predictivo, preventivo, correctivo y técnico-legal, así como las de puesta en servicio, parada, monitorización y manejo diario de las instalaciones sujetas a servicio.

8.5 El contrato de mantenimiento

Los tipos de contrato de mantenimiento que podemos encontrar en el mercado son diversos, y cada uno de ellos será más o menos conveniente dependiendo del tipo de edificio e instalaciones a mantener, de su uso, sus condiciones de funcionamiento, la criticidad en caso de falla, del presupuesto y del tipo de gestión que se precise, entre otras variables.

8.5.1 Tipos de contrato de mantenimiento

A. Mantenimiento preventivo programado: basado en visitas periódicas programadas. Suele darse en casos en que el edificio y sus instalaciones es gestionado y operado por un tercero que subcontrata el mantenimiento preventivo y correctivo a empresas especialistas.

B. Mantenimiento correctivo a demanda: se interviene en la instalación de forma correctiva solamente en caso de avería.

C. Mantenimiento preventivo-correctivo: el servicio incluye tanto de mantenimiento preventivo (revisiones programadas) como de mantenimiento correctivo (reparación de averías).

D. Mantenimiento conductivo: conjunto de actividades correspondientes a la gestión técnica y al uso diario y sistemático de las instalaciones, incluidas las actuaciones de mantenimiento predictivo, preventivo, correctivo y técnico-legal, así como las de puesta en servicio, parada, monitorización y manejo diario de las instalaciones sujetas a servicio.

E. Mantenimiento “todo incluido” o de “garantía total”: es un tipo de garantía que se puede contratar de forma complementaria a cualquiera de las modalidades de mantenimiento definidas. Por la que se incluye el suministro de todos los consumibles y la reposición de todos los elementos, componentes, equipos y sistemas de una instalación, en cualquier circunstancia en la que resulte necesaria.

F. Gestión Energética: es una modalidad de contratación en la que, además del mantenimiento de las instalacio-

nes en cualquiera de las modalidades anteriormente descritas, también se incluye la operación de las mismas y el suministro de agua y energía.

G. Contrato de Servicios Energéticos: es una modalidad de contratación que incluye las prestaciones y características definidas en un contrato de Gestión Energética, pero con el valor añadido de que la ESE (Empresa de Servicios Energéticos) condiciona parte o la totalidad del cobro de sus servicios a la obtención de ahorros de energía por introducción de mejoras de la eficiencia energética, afrontando cierto grado de riesgo económico al hacerlo.

H. Servicio de telegestión: servicio que incluye la supervisión remota de las instalaciones por operadores cualificados, con el objetivo de optimizar su funcionamiento y gestionar de forma más eficiente el mantenimiento de las mismas. Los operadores reciben las alarmas de las instalaciones a tiempo real, en cuanto el sistema detecta cualquier anomalía o desviación, de forma que pueden diagnosticar la avería y actuar con mayor celeridad para el restablecimiento de su funcionalidad, bien sea de forma remota o enviando a un técnico a la instalación. Los operadores también pueden actuar proactivamente sobre la instalación, modificando consignas de temperatura, horarios u otros parámetros, con el objetivo de optimizar el funcionamiento y la eficiencia energética de los sistemas.

I. Gestión de consumos: servicio consistente en la lectura periódica de los contadores y equipos de medida de las instalaciones, para el análisis y control de los consumos energéticos y de agua. Se pueden incluir en este servicio las siguientes actividades: supervisión y seguimiento en continuo de los consumos y rendimientos energéticos de las instalaciones, detección de desviaciones, contrastación de los consumos con los facturados por las Compañías Suministradoras, individualización de costes de energía y agua, y emisión de liquidaciones.

8.5.2 Aspectos más importantes a evaluar en un contrato de mantenimiento

Los aspectos más importantes a evaluar a la hora de contratar el mantenimiento de las instalaciones térmicas de un edificio son los siguientes:

A. Inventario de instalaciones y equipos: en el contrato de mantenimiento debe de incluirse el inventario de instalaciones y equipos a mantener, que deberá ser lo más detallado posible, ya que la realización de un correcto inventario es la base para la definición de un adecuado Plan de Mantenimiento Preventivo.

B. Plan de Mantenimiento Preventivo (PMP): en el contrato de mantenimiento se debe de incluir el PMP. En

el PMP se definirán las operaciones de mantenimiento a realizar por cada uno de los equipos o instalaciones a mantener, así como su periodicidad. El PMP es muy importante, porque es el documento que define los compromisos de la empresa mantenedora en cuanto a los trabajos a realizar.

- C. Mantenimiento correctivo y contingencias:** esta cláusula definirá la forma de actuación ante averías o avisos, en función de su tipo y de la urgencia.
- D. Horarios de atención:** es importante que queden definidos en el contrato los horarios de atención telefónica, horarios regulares de trabajo, horarios de atención de avisos, horarios considerados “de urgencia”, etc..., así como las tarifas de mano de obra asociadas a cada uno de ellos.
- E. Tiempo de intervención y resolución:** es importante definir en el contrato los compromisos en cuanto a los tiempos máximos de respuesta, en función del tipo de aviso y de su urgencia, así como el tiempo máximo de resolución del mismo.
- F. Suministro de materiales y reparaciones:** en el contrato se debe de especificar a cargo de quien corre el coste de los materiales utilizados, tanto en el mantenimiento preventivo como en el correctivo.
- G. Exclusiones del contrato:** en los contratos suele incluirse una cláusula de exclusiones, que es muy útil para delimitar el alcance del contrato.
- H. Seguros y avales:** es importante que la empresa a la que se le encargue el mantenimiento del edificio cuente con una póliza de seguros, con cobertura suficiente y adecuada a los activos a mantener y al riesgo, que cubra la responsabilidad civil y daños a terceros y/o al edificio.
- I. Resolución del contrato:** conviene prever una cláusula que permita resolver el contrato si los compromisos adquiridos no se cumplieran por cualquiera de las partes. También puede definirse el procedimiento de resolución del contrato sin causa justificada (tiempo de antelación para la notificación, penalizaciones, etc...).
- J. Garantías:** el proveedor ha de garantizar por un periodo determinado todas las reparaciones y materiales utilizados en las mismas (mínimo seis meses), así como las nuevas instalaciones ejecutadas (mínimo dos años).

8.6 Obligaciones reglamentarias del mantenimiento de instalaciones térmicas

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) establece las exigencias de eficiencia energética y seguridad que deben de cumplir las instalaciones térmicas en los edificios destinadas a atender la demanda de bienestar e

higiene de las personas, durante todo su ciclo de vida, desde su diseño hasta su mantenimiento y uso.

A continuación, se citan los aspectos más importantes del RITE a tener en cuenta para una correcta gestión y mantenimiento de las instalaciones centralizadas de agua caliente sanitaria, calefacción y refrigeración.

I. Mantenimiento de las instalaciones térmicas

Las operaciones de mantenimiento de las instalaciones sujetas al RITE **se realizarán exclusivamente por empresas mantenedoras habilitadas** por la Comunidad Autónoma correspondiente.

Las empresas instaladoras-mantenedoras RITE deben de cumplir las siguientes exigencias para poder habilitarse reglamentariamente:

- a. La empresa deberá estar constituida legalmente e incluir en su objeto social las actividades de montaje y reparación de instalaciones térmicas en edificios y/o de mantenimiento y reparación de instalaciones térmicas en edificios.
- b. Estará dada de alta en el correspondiente régimen de la Seguridad Social y al corriente en el cumplimiento de las obligaciones del sistema.
- c. Seguro de responsabilidad civil, o garantía equivalente, con una cobertura mínima para posibles daños ocasionados por su actividad de 300.000 euros.
- d. Disponibilidad, como mínimo, de un operario en plantilla con carné profesional de instalaciones térmicas de edificios.
- e. En los casos que proceda, la empresa deberá disponer de personal certificado conforme a lo dispuesto en el Real Decreto 795/2010, de 16 de junio, por el que se regula la comercialización y manipulación de gases fluorados y equipos basados en los mismos, así como la certificación de los profesionales que los manipulan.
- f. Para la instalación, mantenimiento o reparación de instalaciones térmicas afectadas por el Real Decreto 138/2011, de 4 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento de Seguridad para Instalaciones Frigoríficas y sus Instrucciones Técnicas Complementarias, la empresa instaladora-mantenedora térmica cumplirá con las exigencias del citado reglamento y contará con los medios técnicos y materiales especificados en su Instrucción Técnica IF-13.

El mantenimiento de las instalaciones sujetas al RITE será realizado de acuerdo con lo establecido en la IT 3, atendiendo a los siguientes casos:

- Instalaciones térmicas con potencia térmica nominal total instalada en generación de calor o frío igual o superior a 5 kW e inferior o igual a 70 kW.

Estas instalaciones se mantendrán por una empresa mantenedora, que debe realizar su mantenimiento de acuerdo con las instrucciones contenidas en el «Manual de Uso y Mantenimiento».

- Instalaciones térmicas con potencia térmica nominal total instalada en generación de calor o frío mayor que 70 kW.

Estas instalaciones se mantendrán por una empresa mantenedora con la que el titular de la instalación térmica debe suscribir un contrato de mantenimiento, realizando su mantenimiento de acuerdo con las instrucciones contenidas en el «Manual de Uso y Mantenimiento».

- Instalaciones térmicas cuya potencia térmica nominal total instalada sea mayor que 5.000 kW en calor y/o 1.000 kW en frío, así como las instalaciones de calefacción o refrigeración solar cuya potencia térmica sea mayor que 400 kW.

Estas instalaciones se mantendrán por una empresa mantenedora con la que el titular debe suscribir un contrato de mantenimiento. El mantenimiento debe realizarse bajo la dirección de un técnico titulado competente con funciones de director de mantenimiento, ya pertenezca a la propiedad del edificio o a la plantilla de la empresa mantenedora.

II. Registro de las operaciones de mantenimiento.

Toda instalación térmica debe disponer de un registro en el que se recojan las operaciones de mantenimiento y las reparaciones que se produzcan en la instalación, y que formará parte del Libro del Edificio.

El titular de la instalación será responsable de su existencia y lo tendrá a disposición de las autoridades competentes que así lo exijan por inspección o cualquier otro requerimiento. Se deberá conservar durante un tiempo no inferior a cinco años, contados a partir de la fecha de ejecución de la correspondiente operación de mantenimiento.

La empresa mantenedora confeccionará el registro y será responsable de las anotaciones en el mismo.

III. Certificado de mantenimiento.

Anualmente, en aquellos casos en que sea obligatorio suscribir contrato de mantenimiento, la empresa mantenedora y el director de mantenimiento, cuando la participación de este último sea preceptiva, suscribirán el certificado de mantenimien-

to, que será enviado, si así se determina, al órgano competente de la Comunidad Autónoma, quedando una copia del mismo en posesión del titular de la instalación, quien lo incorporará al Libro del Edificio cuando este exista. La validez del certificado de mantenimiento expedido será como máximo de un año.

El certificado de mantenimiento, según modelo establecido por el órgano competente de la Comunidad Autónoma, tendrá como mínimo el contenido siguiente:

- a. Identificación de la instalación, incluyendo el número de expediente inicial con el que se registró la instalación.
- b. Identificación de la empresa mantenedora, mantenedor habilitado responsable de la instalación y del director de mantenimiento, cuando la participación de este último sea preceptiva.
- c. Declaración expresa de que la instalación ha sido mantenida de acuerdo con el Manual de Uso y Mantenimiento y que cumple con los requisitos exigidos en la IT 3.
- d. Resumen de los consumos anuales registrados: combustible, energía eléctrica, agua para llenado de las instalaciones, agua caliente sanitaria, totalización de los contadores individuales de agua caliente sanitaria y energía térmica.
- e. Resumen de las aportaciones anuales: térmicas de la central de producción y de las energías renovables y/o cogeneración si las hubiese.
- f. En el caso de no poder obtenerse los datos anteriores se justificará en el certificado de mantenimiento.

IV. Instrucción Técnica IT3 Mantenimiento y Uso

Esta instrucción técnica contiene las exigencias que deberán de cumplir las instalaciones térmicas con el fin de asegurar que su funcionamiento, a lo largo de su vida útil, se realice con la máxima eficiencia energética, garantizando la seguridad, la durabilidad y la protección del medio ambiente, así como las exigencias establecidas en el proyecto o memoria técnica de la instalación final realizada.

Las instalaciones térmicas se utilizarán y mantendrán conforme a los procedimientos que se describen a continuación.

IT 3.3 Programa de Mantenimiento Preventivo (PMP)

Las instalaciones térmicas se mantendrán de acuerdo a las operaciones y periodicidades contenidas en el PMP establecido en el Manual de Uso y Mantenimiento”, cuando este exista. Las periodicidades serán al menos las indicadas en la tabla 3.1 del RITE, según el uso del edificio, el tipo de aparatos y la potencia nominal:

Tabla 8.1 Operaciones de mantenimiento preventivo y su periodicidad.

Equipos y potencias útiles nominales (P_n)	Usos	
	Viviendas	Restantes usos
Calentadores de agua caliente sanitaria a gas $P_n \leq 24,4$ kW	5 años	2 años
Calentadores de agua caliente sanitaria a gas $24,4$ kW $> P_n \leq 70$ kW	2 años	Anual
Calderas murales a gas $P_n \leq 70$ kW	2 años	Anual
Resto instalaciones de calefacción $P_n \leq 70$ kW	Anual	Anual
Aire acondicionado $P_n \leq 12$ kW	4 años	2 años
Aire acondicionado 12 kW $< P_n \leq 70$ kW	2 años	Anual
Instalaciones de potencia superior a 70 kW	Mensual	Mensual

Las instalaciones de potencia útil nominal menor o igual a 70 kW, cuando no exista Manual de Uso y Mantenimiento, se mantendrán según el criterio de la empresa mantenedora. La tabla 9.2 del RITE indica a título orientativo las operaciones

de mantenimiento recomendadas. Las periodicidades serán las indicadas en la tabla 9.1 anterior. Las instalaciones de energía solar térmica y biomasa se adecuarán a las operaciones y periodicidades de la tabla 3.3 del RITE.

Tabla 8.2 Operaciones de mantenimiento preventivo ($P_n \leq 70$ kW).

Instalaciones de calefacción y agua caliente sanitaria
Revisión de aparatos exclusivos para la producción de ACS: $P_n \leq 24,4$ kW
Revisión de aparatos exclusivos para la producción de ACS: $24,4$ kW $< P_n \leq 70$ kW.
Comprobación y limpieza, si procede, de circuito de humos de calderas.
Comprobación y limpieza, si procede, de conductos de humos y chimenea
Limpieza, si procede, del quemador de la caldera.
Revisión del vaso de expansión.
Revisión de los sistemas de tratamiento de agua
Comprobación de estanquidad de cierre entre quemador y caldera.
Comprobación de niveles de agua en circuitos.
Comprobación de tarado de elementos de seguridad.
Revisión y limpieza de filtros de agua.
Revisión del sistema de preparación de agua caliente sanitaria
Revisión del estado del aislamiento térmico
Revisión del sistema de control automático
Instalaciones de climatización
Limpieza de los evaporadores
Limpieza de los condensadores
Drenaje, limpieza y tratamiento del circuito de torres de refrigeración
Comprobación de la estanquidad y niveles de refrigerante y aceite en equipos frigoríficos
Revisión y limpieza de filtros de aire
Revisión de aparatos de humectación y enfriamiento evaporativo
Revisión y limpieza de aparatos de recuperación de calor
Revisión de unidades terminales agua-aire
Revisión de unidades terminales de distribución de aire
Revisión y limpieza de unidades de impulsión y retorno de aire
Revisión de equipos autónomos

Para instalaciones de potencia útil nominal mayor de 70 kW, cuando no exista Manual de Uso y Mantenimiento, la empresa mantenedora elaborará un Manual de Uso y Mantenimien-

to que entregará al titular de la instalación. Las operaciones en los diferentes componentes de las instalaciones serán las indicadas en la tabla 9.3.

Tabla 8.3 Operaciones de mantenimiento preventivo ($P_n > 70$ kW).

Limpieza de los evaporadores	t
Limpieza de los condensadores	t
Drenaje, limpieza y tratamiento del circuito de torres de refrigeración	2 t
Comprobación de la estanquidad y niveles de refrigerante y aceite en equipos frigoríficos	m
Comprobación y limpieza, si procede, de circuito de humos de calderas	2 t
Comprobación y limpieza, si procede, de conductos de humos y chimenea	2 t
Limpieza del quemador de la caldera	m
Revisión del vaso de expansión	m
Revisión de los sistemas de tratamiento de agua	m
Comprobación de material refractario	2 t
Comprobación de estanquidad de cierre entre quemador y caldera	m
Revisión general de calderas de gas	t
Revisión general de calderas de gasóleo	t
Comprobación de niveles de agua en circuitos	m
Comprobación de estanquidad de circuitos de tuberías	t
Comprobación de estanquidad de válvulas de interceptación	2 t
Comprobación de tarado de elementos de seguridad	m
Revisión y limpieza de filtros de agua	2 t
Revisión y limpieza de filtros de aire	m
Revisión de baterías de intercambio térmico	t
Revisión de aparatos de humectación y enfriamiento evaporativo	m
Revisión y limpieza de aparatos de recuperación de calor	2 t
Revisión de unidades terminales agua-aire	2 t
Revisión de unidades terminales de distribución de aire	2 t
Revisión y limpieza de unidades de impulsión y retorno de aire	t
Revisión de equipos autónomos	2 t
Revisión de bombas y ventiladores	m
Revisión del sistema de preparación de agua caliente sanitaria	m
Revisión del estado del aislamiento térmico	t
Revisión del sistema de control automático	2 t
Instalación de energía solar térmica	*
Comprobación del estado de almacenamiento del biocombustible sólido	S*
Apertura y cierre del contenedor plegable en instalaciones de biocombustible sólido	2 t
Limpieza y retirada de cenizas en instalaciones de biocombustible sólido	m
Control visual de la caldera de biomasa	S*
Comprobación y limpieza, si procede, de circuito de humos de calderas y conductos de humos y chimeneas en calderas de biomasa	m
Revisión de los elementos de seguridad en instalaciones de biomasa	m
Revisión de la red de conductos según criterio de la norma UNE 100012	t
Revisión de la calidad ambiental según criterios de la norma UNE 171330	t

S: una vez cada semana

S*: Estas operaciones podrán realizarse por el propio usuario, con el asesoramiento previo del mantenedor

m: una vez al mes; la primera al inicio de la temporada

t: una vez por temporada (año)

2 t: dos veces por temporada (año); una al inicio de la misma y otra a la mitad del período de uso, siempre que haya una diferencia mínima de dos meses entre ambas

*: El mantenimiento de estas instalaciones se realizará de acuerdo con el CTE DB-HE4

IT 3.4 Programa de Gestión Energética

La empresa mantenedora realizará un análisis y evaluación periódica del rendimiento de los equipos generadores de ca-

lor y de frío, en función de su potencia térmica nominal instalada, midiendo y registrando los valores, de acuerdo con las operaciones y periodicidades indicados en la tabla 9.4 y 9.5 respectivamente.

Tabla 8.4 Medidas de generadores de calor y su periodicidad.

Medidas de generadores de calor	Periodicidad		
	20 kW	70 kW	P>1000 kW
Temperatura o presión del fluido portador en entrada y salida del generador de calor	2a	3m	m
Temperatura ambiente del local o sala de máquinas	2a	3m	m
Temperatura de los gases de combustión	2a	3m	m
Contenido de CO y CO2 en los productos de combustión	2a	3m	m
Índice de opacidad de los humos en combustibles sólidos o líquidos y de contenido de partículas sólidas en combustibles sólidos	2a	3m	m
Tiro en la caja de humos de la caldera	2a	3m	m

m: una vez al mes; 3m: cada tres meses, la primera al inicio de la temporada; 2a: cada dos años

Tabla 8.5 Medidas de generadores de frío y su periodicidad.

Medidas de generadores de frío	Periodicidad	
	70 kW	P>1000 kW
Temperatura del fluido exterior en entrada y salida del evaporador	3m	m
Temperatura del fluido exterior en entrada y salida del condensador	3m	m
Pérdida de presión en el evaporador en plantas enfriadas por agua	3m	m
Pérdida de presión en el condensador en plantas enfriadas por agua	3m	m
Temperatura y presión de evaporación	3m	m
Temperatura y presión de condensación	3m	m
Potencia eléctrica absorbida	3m	m
Potencia térmica instantánea del generador, como porcentaje de la carga máx.	3m	m
CEE o COP instantáneo	3m	m
Caudal de agua en el evaporador	3m	m
Caudal de agua en el condensador	3m	m

m: una vez al mes, la primera al inicio de la temporada; 3m: cada tres meses; 2a: cada dos años

IT 3.5 Instrucciones de seguridad

1. Las instrucciones de seguridad serán adecuadas a las características técnicas de la instalación concreta y su objetivo será reducir a límites aceptables el riesgo de que los usuarios u operarios sufran daños inmediatos durante el uso de la instalación.
2. En el caso de instalaciones de potencia térmica nominal mayor que 70 kW estas instrucciones deben estar claramente visibles antes del acceso y en el interior de salas de máquinas, locales técnicos y junto a aparatos y equipos, con absoluta prioridad sobre el resto de instrucciones y deben hacer

referencia, entre otros, a los siguientes aspectos de la instalación: parada de los equipos antes de una intervención; desconexión de la corriente eléctrica antes de intervenir en un equipo; colocación de advertencias antes de intervenir en un equipo, indicaciones de seguridad para distintas presiones, temperaturas, intensidades eléctricas, etc.; cierre de válvulas antes de abrir un circuito hidráulico; etc.

IT 3.6 Instrucciones de manejo y maniobra

1. Las instrucciones de manejo y maniobra, serán adecuadas a las características técnicas de la instalación concreta y deben servir para efectuar la puesta en marcha y parada

de la instalación, de forma total o parcial, y para conseguir cualquier programa de funcionamiento y servicio previsto.

2. En el caso de instalaciones de potencia térmica nominal mayor que 70 kW estas instrucciones deben estar situadas en lugar visible de la sala de máquinas y locales técnicos y deben hacer referencia, entre otros, a los siguientes aspectos de la instalación: secuencia de arranque de bombas de circulación; limitación de puntas de potencia eléctrica, evitando poner en marcha simultáneamente varios motores a plena carga; utilización del sistema de enfriamiento gratuito en régimen de verano y de invierno.

IT 3.7 Instrucciones de funcionamiento

El programa de funcionamiento será adecuado a las características técnicas de la instalación concreta con el fin de dar el servicio demandado con el mínimo consumo energético. En el caso de instalaciones de potencia térmica nominal mayor que 70 kW comprenderá los siguientes aspectos:

- a. Horario de puesta en marcha y parada de la instalación.
- b. Orden de puesta en marcha y parada de los equipos.
- c. Programa de modificación del régimen de funcionamiento.
- d. Programa de paradas intermedias del conjunto o de parte de equipos.
- e. Programa y régimen especial para los fines de semana y para condiciones especiales de uso del edificio o de condiciones exteriores excepcionales.

IT 3.8 Limitación de temperaturas

Por razones de ahorro energético se limitarán las condiciones de temperatura en el interior de los establecimientos habitables que estén acondicionados, situados en los edificios y locales destinados a los siguientes usos:

- a. Administrativo.
- b. Comercial: tiendas, supermercados, grandes almacenes, centros comerciales y similares.
- c. Pública concurrencia:
 - Culturales: teatros, cines, auditorios, centros de congresos, salas de exposiciones y similares.
 - Establecimientos de espectáculos públicos y actividades recreativas.
 - Restauración: bares, restaurantes y cafeterías.
 - Transporte de personas: estaciones y aeropuertos.

La temperatura del aire en los recintos habitables acondicionados indicados anteriormente se limitará a los siguientes valores:

- a. La temperatura del aire en los recintos calefactados no será superior a 21 °C, cuando para ello se requiera consumo de energía convencional para la generación de calor por parte del sistema de calefacción.
- b. La temperatura del aire en los recintos refrigerados no será inferior a 26 °C, cuando para ello se requiera consumo de energía convencional para la generación de frío por parte del sistema de refrigeración.
- c. Las condiciones de temperatura anteriores estarán referidas al mantenimiento de una humedad relativa comprendida entre el 30% y el 70%.

Cuando no sea preciso aportar energía para el calentamiento o enfriamiento del aire los valores se regirán exclusivamente por criterios de confort según los requisitos de la IT 1.1.4.1.2.

8.7 Consejos para selección de su empresa mantenedora

1. Que sea una **empresa especialista** en las instalaciones a mantener, **con suficiente experiencia y habilitada por la Comunidad Autónoma correspondiente**, conforme a los requisitos exigidos en el artículo 37 de RITE.
2. Que sea **capaz de mantener y gestionar todas las instalaciones térmicas y de fluidos del edificio**, desde las centrales de producción o cuartos técnicos hasta los elementos terminales ubicados en el interior de las viviendas o locales, incluyendo la telegestión de las instalaciones, y la monitorización, control y gestión de los consumos individuales de agua y de energía.
3. Que cuente con **recursos humanos y materiales suficientes** y adecuados a la actividad y al volumen de instalaciones a mantener.
 - a. Estructura organizativa.
 - b. Medios humanos (técnicos titulados competentes, personal cualificado, técnicos especialistas,...)
 - c. Medios materiales (herramientas, instalaciones,...)
4. **Atención 24 horas** al día todos los días del año.
5. Que acredite la calidad de sus procesos internos y medioambientales (normas ISO 9001 y 14001).
6. Empresa que trabaje con seguridad y cumpliendo con las leyes vigentes en materia de prevención de riesgos laborales.
7. Seguro de responsabilidad civil.

El cliente tiene el derecho de solicitar a las empresas toda la documentación anteriormente relacionada, antes de la contratación del mantenimiento.

8.8 Mantenimiento y ahorro energético

Como se ha comentado anteriormente, el mantenimiento se manifiesta como la herramienta clave para conseguir ahorrar energía y para disminuir las emisiones medioambientales atmosféricas. **Un adecuado mantenimiento puede suponer importantes ahorros de energía.**

Corresponde a las empresas de mantenimiento la gestión de las instalaciones, que incluye tanto el seguimiento de los consumos energéticos y de agua, como la optimización del funcionamiento de las mismas.

8.8.1 Formas en las que el mantenimiento influye en la eficiencia energética

Las posibilidades de actuación y de mejora de la eficiencia dependen de tres factores:

- A. De las características de la propia instalación.
- B. Del tipo de contrato de mantenimiento.
- C. De la experiencia de la empresa mantenedora y la capacitación de su personal técnico.

Para poder aplicar medidas de mejora sobre un sistema, antes se debe de evaluar su estado actual y para ello es necesario disponer de información suficiente. Cuanta más información se tenga (o cuantas más posibilidades o facilidad se tenga de obtenerla) mucho más preciso será el análisis previo.

A continuación, se relaciona la documentación e información que sería deseable recopilar antes de empezar a gestionar cualquier instalación, aunque la realidad es que en la mayoría de los casos existen dificultades para obtener dicha información:

- A. Información histórica de consumos de combustible y electricidad (registro de consumos, facturas de combustible, ...)
- B. Documentación técnica de la instalación y del edificio (libro del edificio, proyecto técnico, planos, esquemas de principio de las instalaciones, esquemas unifilares eléctricos de fuerza y de maniobra, fichas de características de los equipos existentes...)
- C. La instalación debe de contar con elementos de medida (manómetros, termómetros, contadores de agua, contadores de combustible, contadores de energía térmica y eléctrica, etc.) que nos permitan medir, ya que “lo que no se mide, no se puede gestionar”.

D. Si las instalaciones cuentan con un sistema de regulación y control telegestionado, podremos monitorizar y registrar de forma remota y a tiempo real los parámetros más significativos de funcionamiento y obtener información relevante.

E. Información adicional: informes técnicos, auditorías energéticas, informes termográficos, etc.

Las medidas de eficiencia energética relacionadas con las operaciones propias del mantenimiento contratado, que dependen de la experiencia y buen hacer de la empresa mantenedora, sin que dichas operaciones deban suponer costes adicionales para el cliente, pueden ser las siguientes:

- A. Aprovechar al máximo el fraccionamiento de potencia y la modulación de los equipos generadores, para adecuar la producción a la demanda puntual de energía del edificio, de forma que se reduzcan en la medida de lo posible los arranques y paradas de los mismos, e intentar que los equipos funcionen el mayor tiempo posible en su régimen de máximo rendimiento.
- B. Realizar un correcto equilibrado hidráulico de los diferentes circuitos y redes hidráulicas incide en un menor coste energético en bombeo.
- C. Controlar los horarios de funcionamiento y las consignas de temperatura; programar y optimizar la puesta en marcha y parada de las instalaciones.
- D. Regular los tiros de las chimeneas cuando no funcionan todas las calderas.
- E. Mantener las temperaturas de evaporación y condensación, lo más alta y más baja posible respectivamente, dentro de los límites del proyecto.
- F. En las épocas extremas regular el caudal de aire primario al mínimo necesario.
- G. Detener, si es posible, la bomba de recirculación del agua caliente sanitaria por la noche, reduciendo las pérdidas de calor por las tuberías y los costes de energía eléctrica.
- H. Anular las zonas inocuadas. Adecuar las condiciones de confort de los locales a su uso. Proteger los termostatos y otros sensores, evitando su manipulación por los usuarios.
- I. Operar las instalaciones de forma proactiva, basando las decisiones y las estrategias de funcionamiento en el análisis de los datos obtenidos a través de la monitorización de los consumos energéticos y de agua que nos proporcionan los equipos de medida y los sistemas de gestión remota.

8.8.2 Caso de éxito: Mantenimiento y Gestión de las Instalaciones Térmicas y sus Consumos en Comunidad de Propietarios en la Comunidad de Madrid

Este caso de éxito es un buen ejemplo de cómo el mantenimiento y la correcta gestión de las instalaciones y sus consumos pueden proporcionar importantes ahorros energéticos en los edificios.

Se trata de un edificio de viviendas, ubicado en el municipio de Madrid. El edificio cuenta con una central térmica de producción, a través de la cual se le suministra calefacción y agua caliente sanitaria a cada una de las 20 viviendas que componen el edificio. En el año 1998, año en el que comienzan a gestionar a gestionar los consumos de agua, los generadores de calor utilizaban como combustible gasóleo.



Figura 8.6 Foto panorámica de Central Térmica



Figura 8.7 Inter-acumuladores de agua caliente sanitaria.

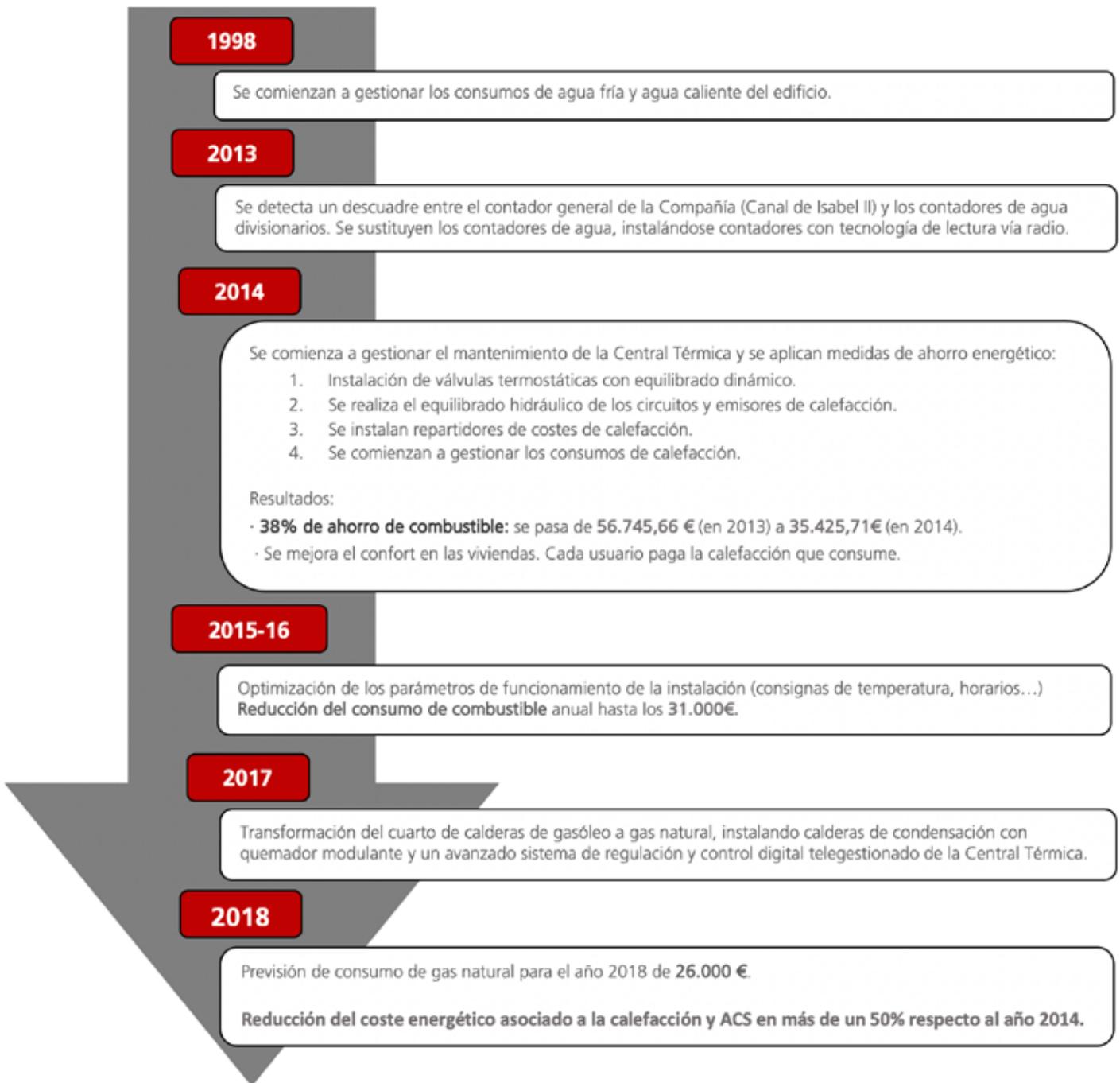


Figura 8.8 Evolución de la instalación con respecto al tiempo.



Fundación
de la
Energía

www.fenercom.com