



Módulo 3

Diseño e integración de sistemas

Desarrollado por la UMA (Universidad de Málaga)



Co-funded by
the European Union



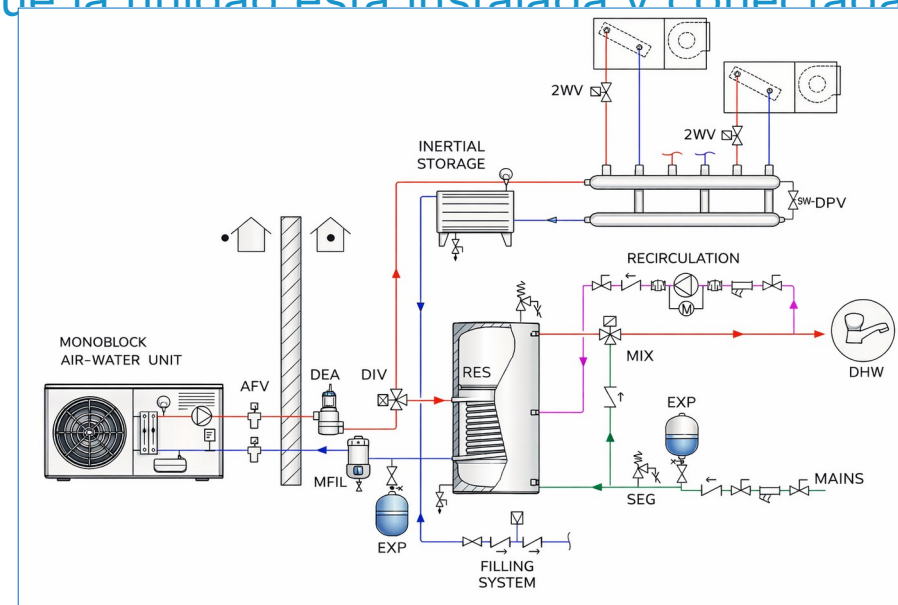
Co-funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or CINEA. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.



Resumen del módulo 3

Este módulo cambia la perspectiva: dejamos de analizar el funcionamiento interno de las bombas de calor para pasar a considerarlas un equipo (caja negra) que debe integrarse dentro del sistema de climatización y agua caliente de un edificio. La bomba de calor se analiza como un componente que interactúa con emisores, sistemas de almacenamiento, circuitos hidráulicos, controles y otras fuentes de energía. El objetivo es comprender el rendimiento, las limitaciones de diseño y el comportamiento operativo una vez que la unidad está instalada y conectada a un sistema completo.

Al finalizar este módulo, comprenderá la lógica de esquemas como el de la figura, que muestra una bomba de calor aire/agua que proporciona servicios de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria.



Co-funded by
the European Union



Contenido del módulo 3

Lección 14	Aspectos operativos de las bombas de calor	Lección 20	Integración de sistemas y estrategias de control
Lección 15	Emisores de calor para sistemas de bombas de calor	Lección 21	Integración con otras fuentes de energía
Lección 16	Producción de agua caliente sanitaria con bombas de calor	Lección 22	renovable Sistemas geotérmicos
Lección 17	Sistemas de bomba de calor		
Lección 18	Recopilación de esquemas de sistemas representativos		
Lección 19	Dimensionamiento de sistemas de bombas de calor		

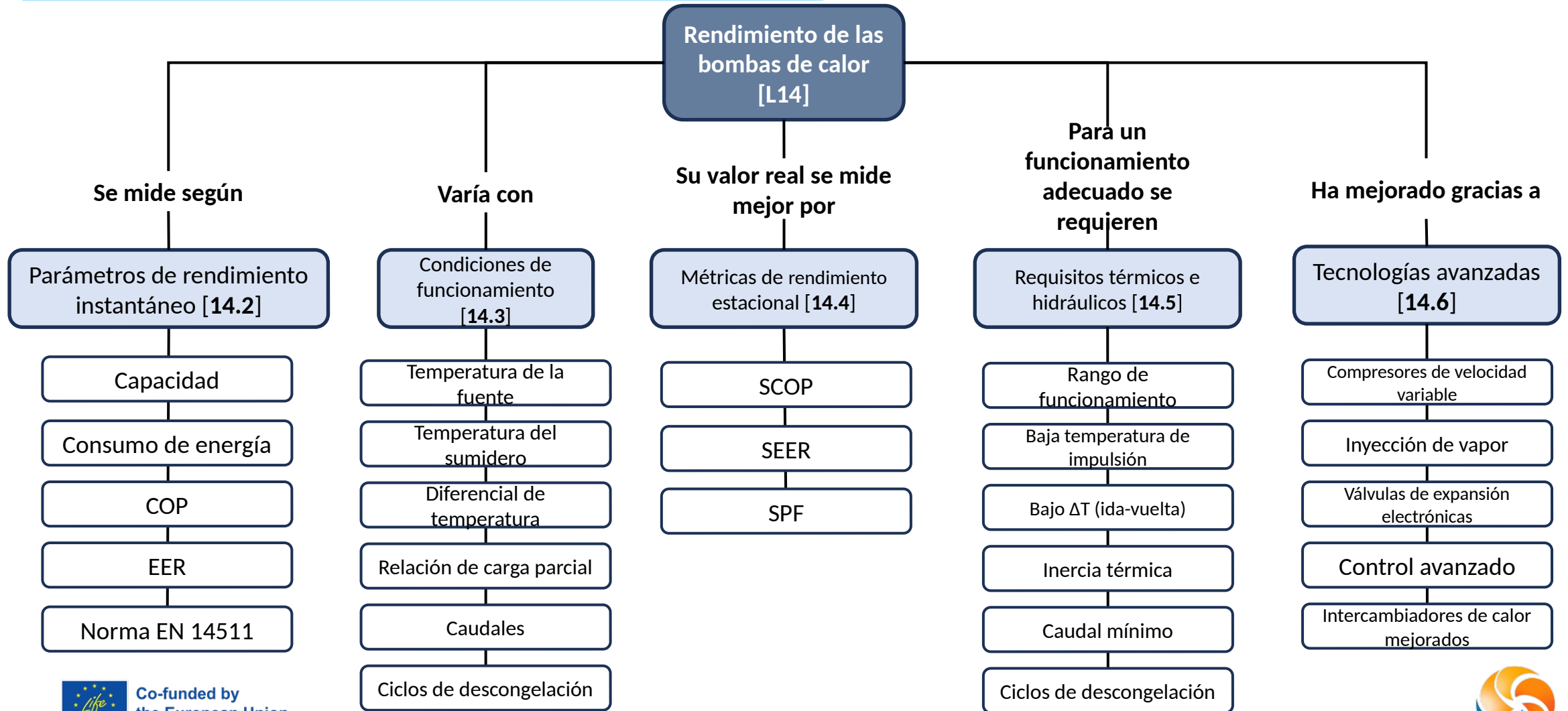
LECCIÓN 14

Aspectos operativos de las bombas de calor

Objetivos de la lección 14

1. Comprender cómo se evalúa el rendimiento de las bombas de calor, incluyendo el significado de COP, EER y los indicadores estacionales, y por qué los valores nominales no representan las condiciones reales de funcionamiento
2. Aprender cómo los cambios en la temperatura exterior, la temperatura de impulsión, el nivel de carga y el funcionamiento del desescarche influyen en la capacidad de calefacción y refrigeración, el consumo eléctrico y la eficiencia global
3. Identificar los principales requisitos de diseño del sistema para las bombas de calor, tales como los límites de funcionamiento, las temperaturas de impulsión, los caudales y la inercia térmica, para garantizar un funcionamiento estable y un alto rendimiento estacional

Contenido de la lección 14



14.1 Introducción

- Las bombas de calor se diferencian de las calderas convencionales en cómo cambia su rendimiento con las condiciones de funcionamiento.
- Las calderas generan calor directamente mediante la combustión de un combustible a temperaturas de llama muy elevadas, lo que hace que su eficiencia sea relativamente insensible a las condiciones ambientales. Por ejemplo, es muy fácil producir agua a 70 °C a partir de una llama a 1500 °C
- Por el contrario, las bombas de calor se funcionan transfiriendo calor desde una fuente de baja temperatura a un sumidero de mayor temperatura. Su rendimiento se ve fuertemente influenciado por las condiciones de funcionamiento: temperatura de la fuente, temperatura del sumidero, nivel de carga, necesidad de ciclos de descongelación y estrategia de control. Todos estos factores afectan directamente tanto a la capacidad térmica como al consumo eléctrico.
- Debido a esta sensibilidad, comprender los aspectos operativos es esencial para la selección y el diseño adecuados de una bomba de calor.

14.2 Rendimiento instantáneo en condiciones nominales

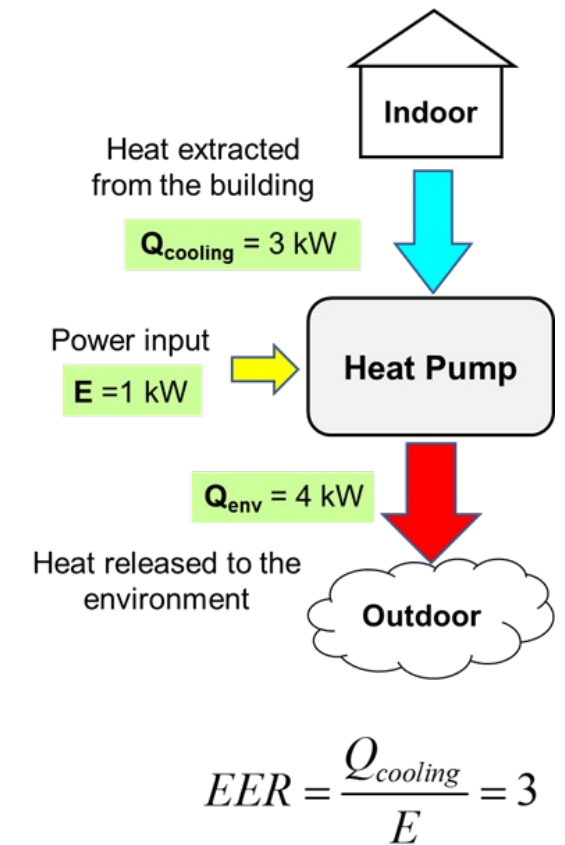
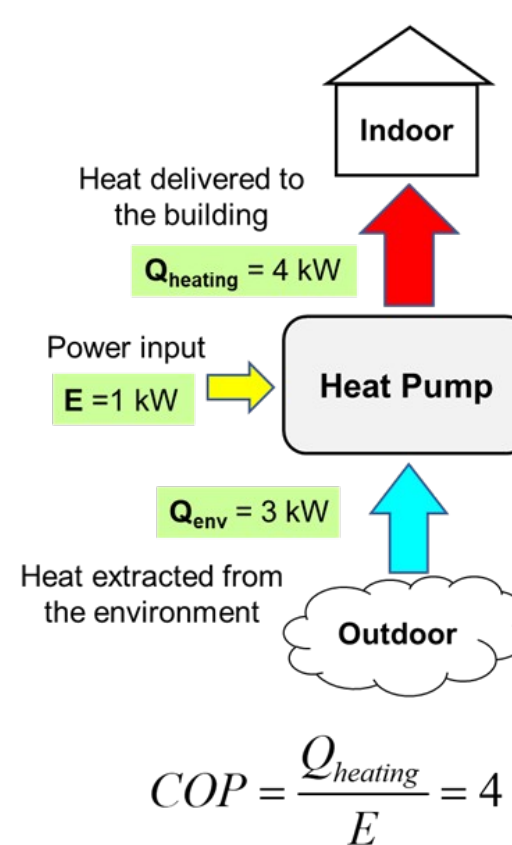
Rendimientos (COP y EER)

El rendimiento de una bomba de calor se calcula dividiendo la potencia térmica útil o capacidad (Q) por la potencia eléctrica consumida (E):

- En **modo calefacción**, el rendimiento se denomina **Coeficiente de rendimiento (COP)**, es decir, la relación entre la potencia calorífica y el consumo eléctrico
- En **modo refrigeración**, se denomina **índice de eficiencia energética (EER)**, que es la relación entre la potencia de refrigeración y el consumo eléctrico

Estas métricas indican cuántas unidades de calor se suministran o extraen por unidad de electricidad consumida. Dado que las bombas de calor transfieren calor en lugar de generarlo, los valores de COP y EER pueden ser significativamente superiores a uno (normalmente entre 2,5 y 4).

Un $COP = 3$ significa que la bomba de calor puede suministrar 3 kW de calor por cada 1 kW de electricidad consumida (los 2 kW adicionales se extraen del entorno, por ejemplo, del aire exterior)

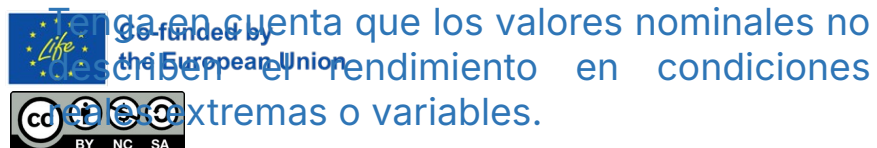


14.2 Rendimiento instantáneo en condiciones nominales

Norma EN 14511: COP y EER nominales

Los valores de COP y EER dependen en gran medida de las temperaturas de funcionamiento, los caudales y las condiciones de carga. Para garantizar la comparabilidad entre diferentes productos, la norma europea EN 14511 define condiciones nominales específicas bajo las cuales deben ensayarse las bombas de calor. Estas condiciones normalizadas especifican las temperaturas de entrada de la fuente de calor y del sumidero de calor, así como los caudales y las condiciones de humedad, cuando sea pertinente.

La capacidad nominal, la potencia eléctrica nominal y el COP o EER nominales resultantes se indican en los catálogos de los fabricantes y representan condiciones de funcionamiento típicas.



Ejemplo: condiciones nominales para bombas de calor aire-aire

Mode of operation	External heat exchanger		Internal heat exchanger	
	Dry Bulb Inlet °C	Wet Bulb Inlet °C	Dry Bulb Inlet °C	Wet Bulb Inlet °C
Heating	7	6	20	15 (max)
Cooling	35	24	27	19

Ejemplo: condiciones nominales para bombas de calor aire-agua

Mode of operation	External heat exchanger		Internal heat exchanger	
	Dry Bulb Inlet °C	Wet Bulb Inlet °C	Inlet Temp. °C	Outlet Temp. °C
Heating – low temperature	7	6	30	35
Heating – intermediate temperature	7	6	40	45
Heating – medium temperature	7	6	47	55
Heating – high temperature	7	6	55	65
Cooling	35	-	12	7

Más detalles: consulte la sección 14.2.3



14.2 Rendimiento instantáneo en condiciones nominales

Interpretación de un catálogo del fabricante

La información de la tabla se ha extraído del catálogo comercial de una bomba de calor aire-aire. En el punto de referencia de la norma EN 14511 (aire exterior a 7 °C, aire interior a 20 °C), la bomba de calor proporciona **5,40 kW de calefacción** y consume **1,31 kW de energía eléctrica**. El **COP** resultante es $5,4/1,31 = 4,12$. Aproximadamente 4,09 kW de este calor se extrae del aire exterior, mientras que los 1,31 kW restantes provienen de la electricidad consumida por el compresor

Este ejemplo ilustra (1) el balance energético en el punto de referencia y (2) aclara que el COP representa la relación entre el calor total suministrado y la potencia eléctrica consumida a temperaturas de funcionamiento específicas.

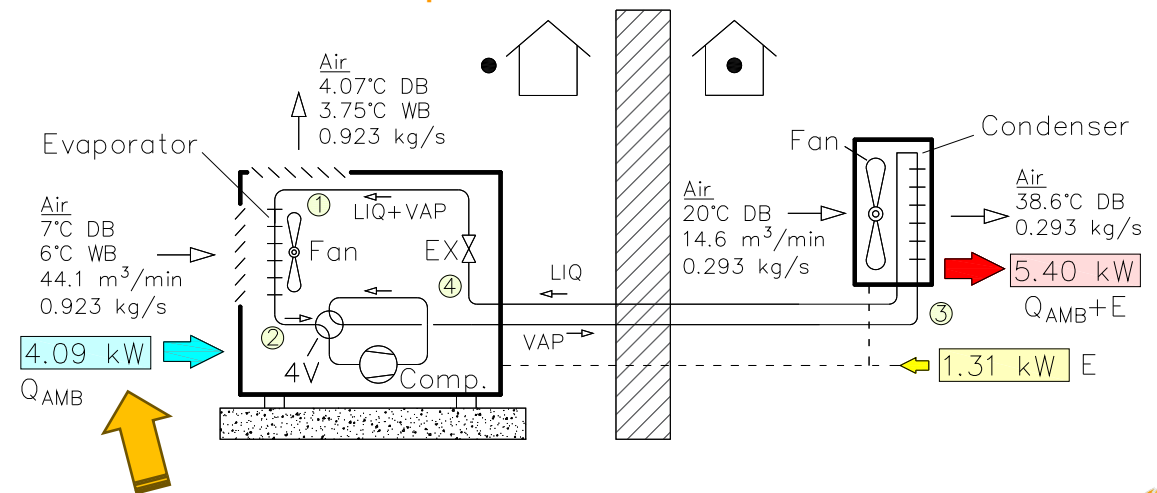
Los valores nominales permiten una comparación justa entre productos ensayados en las mismas condiciones.



Extracto del catálogo

Manufacturer	DAIKIN
Type of heat pump	Split air-air
Model (indoor unit + outdoor unit)	FTXA42AW + RXA42B
Refrigerant	R32
Rated heating capacity	5.40 kW
Rated power input	1.31 kW
Rated COP	4.12
Indoor unit fan flow rate	14.6 m³/min
Outdoor unit fan flow rate	44.1 m³/min

Vista detallada del punto de referencia



¿Por qué las bombas de calor pueden alcanzar altos rendimientos? Porque aprovechan el calor ambiental



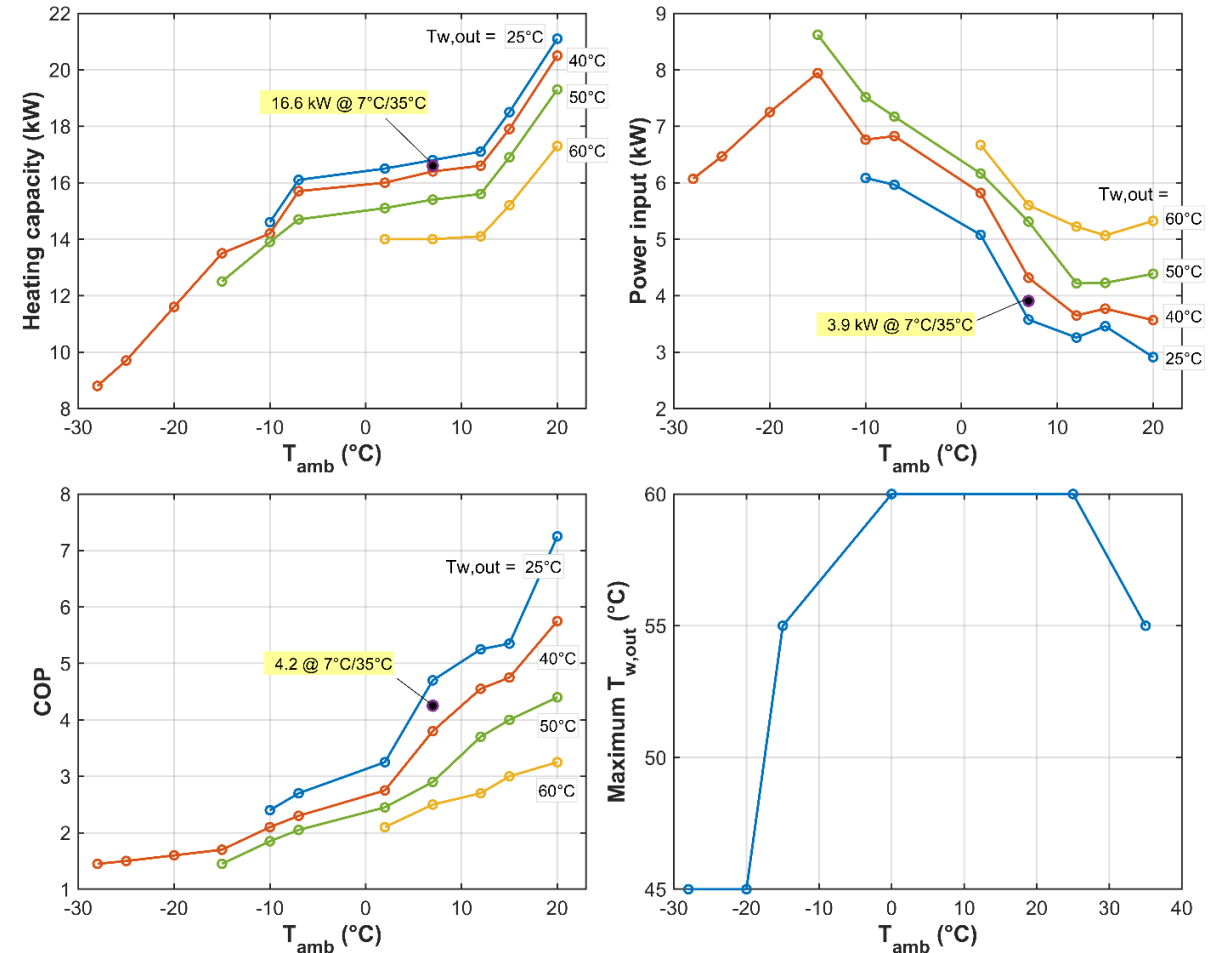
14.3 Rendimiento instantáneo en condiciones no-nominales

- En la práctica, las bombas de calor rara vez funcionan en condiciones nominales.
- Las temperaturas exteriores varían constantemente, las cargas del edificio cambian, y la bomba de calor debe adaptar su operación en respuesta a esos cambios. Como resultado, la capacidad de calefacción y refrigeración, la potencia eléctrica consumida y el rendimiento no son constantes.
- Por lo tanto, el rendimiento fuera de las condiciones nominales desempeña un papel crucial a la hora de comprender cómo se comporta una bomba de calor a lo largo del año y de garantizar que la unidad seleccionada pueda satisfacer la demanda en las condiciones más exigentes.
- La capacidad de calefacción y refrigeración, el consumo eléctrico y el COP (calefacción) o EER (refrigeración) resultantes varían principalmente en función de:
 1. Las temperaturas de la fuente y del sumidero, y su diferencia
 2. La relación de carga parcial
 3. Necesidad de ciclos de descongelación

14.3 Comportamiento instantáneo en condiciones no-nominales

Efecto de las temperaturas

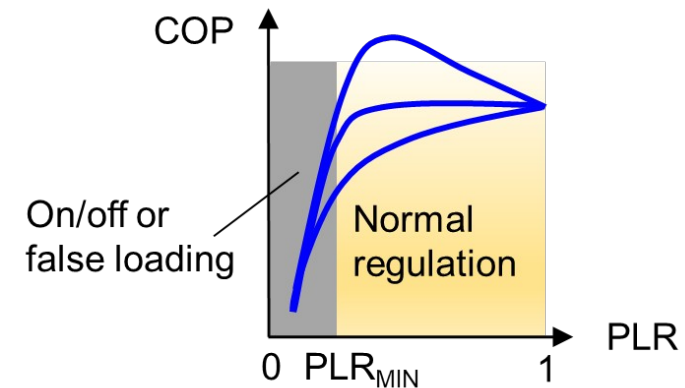
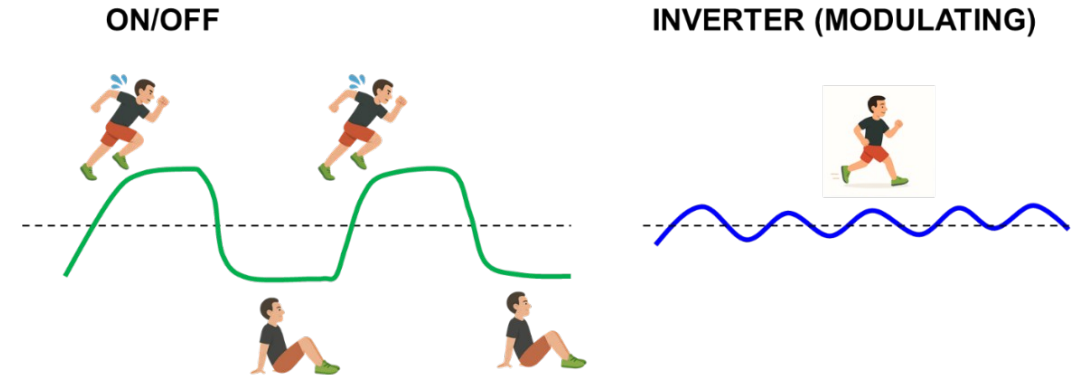
- Un factor clave que influye en el rendimiento es la diferencia entre las temperaturas de condensación (T_{cd}) y de evaporación (T_{ev}) del refrigerante.
- A medida que aumenta el diferencial de temperatura ($T_{cd} \uparrow$ y/o $T_{ev} \downarrow$), el compresor debe funcionar a una relación de presiones más alta, lo que aumenta el consumo eléctrico y reduce tanto la capacidad como la eficiencia
- La figura muestra el mapa de rendimiento completo de una bomba de calor aire/agua comercial
- Tenga en cuenta que una temperatura ambiente más baja ($T_{ev} \downarrow$) o una temperatura de salida del agua más alta ($T_{cd} \uparrow$) implican una capacidad $\downarrow$, un consumo eléctrico $\uparrow$ y un COP $\downarrow$



14.3 Rendimiento instantáneo en condiciones no-nominales

Efecto de la carga parcial

- Otro aspecto importante del funcionamiento fuera de condiciones de diseño es el comportamiento a carga parcial.
- Los edificios suelen demandar la capacidad total de calefacción o refrigeración solo en condiciones climáticas extremas; la mayor parte del tiempo, las bombas de calor funcionan a carga parcial
- La relación de carga parcial se define como la relación entre la carga real y la capacidad disponible de la bomba de calor.
- Si el compresor de la bomba de calor es **de velocidad fija**, las condiciones de carga parcial se satisfacen encendiendo y apagando el compresor, lo que introduce pérdidas de eficiencia debido a los frecuentes arranques
- Los compresores accionados por inversor, por el contrario, ajustan su velocidad para adaptarse a la carga, lo que permite un funcionamiento continuo con pérdidas reducidas y, en general, una mayor eficiencia, especialmente en ratios de carga parcial moderados
- Los compresores accionados por inversor no pueden reducir la velocidad por debajo de aproximadamente el 30 % de la velocidad máxima debido a problemas de retorno de aceite en el circuito de refrigerante



Co-funded by
the European Union



Más detalles: consulte la sección 14.3.2

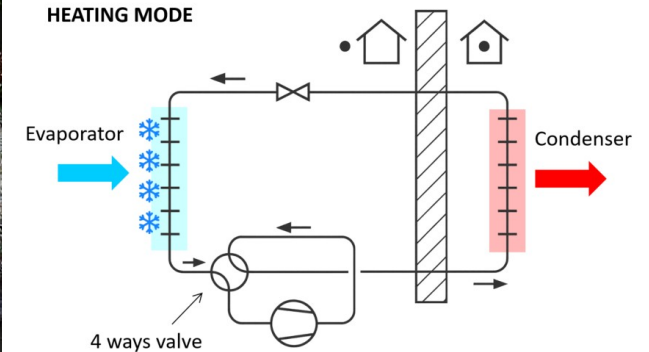


14.3 Rendimiento instantáneo en condiciones no-nominales

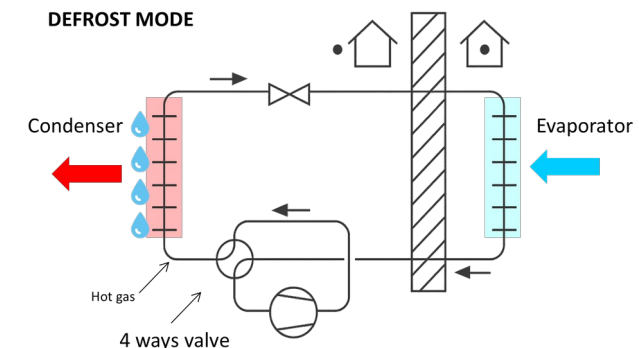
Efecto de los ciclos de descongelación

- Las bombas de calor aerotérmicas pueden requerir ciclos de descongelación en modo calefacción, ya que el intercambiador de calor exterior actúa como evaporador. Cuando su temperatura superficial desciende por debajo del punto de rocío del aire ambiente, la humedad del aire condensa en la superficie de la batería. Si las temperaturas bajan por debajo del punto de congelación, este condensado se convierte en hielo, bloqueando el paso de aire y dificultando la transferencia de calor.
- Para eliminar la escarcha, el sistema entra periódicamente en **modo de descongelación**. El método habitual consiste en invertir el ciclo del refrigerante. Durante la descongelación, la calefacción útil se reduce o se interrumpe temporalmente, y se consume energía adicional.
- Por este motivo, la norma EN 14511 exige que el funcionamiento en modo de descongelación se incluya en las mediciones de rendimiento en condiciones de formación de escarcha.

Formación de escarcha en la unidad exterior



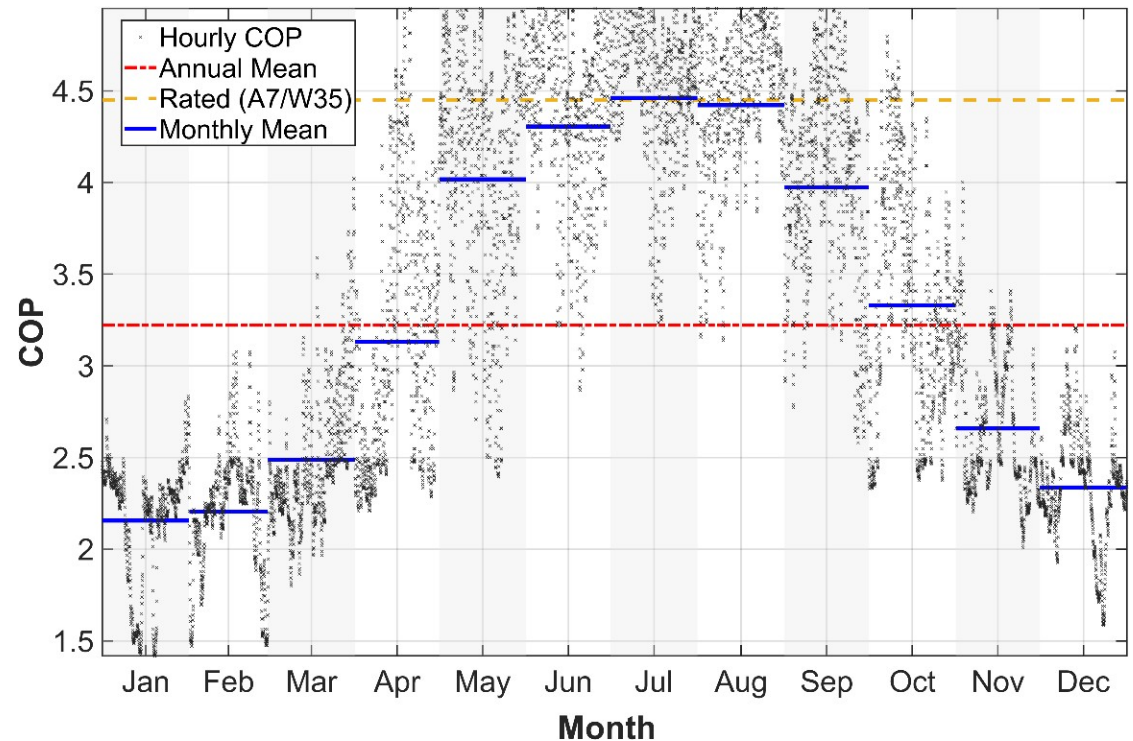
Invertir el ciclo para descongelar la unidad exterior bombeando calor desde el edificio al intercambiador de calor exterior



14.4 Indicadores de rendimiento estacional

- Dado que las bombas de calor funcionan en condiciones que cambian continuamente (temperaturas, carga parcial y posibles ciclos de descongelación), los valores instantáneos de COP o EER no pueden representar adecuadamente el rendimiento en el mundo real.
- Las métricas de rendimiento estacional superan esta limitación integrando la energía útil suministrada y la energía eléctrica consumida durante un periodo prolongado (temporada, año, etc.).
- El coeficiente de rendimiento estacional (SCOP) se utiliza para la calefacción, mientras que el índice de eficiencia energética estacional (SEER) se utiliza para la refrigeración.
- Estas métricas, definidas por la norma EN 14825, tienen en cuenta el funcionamiento a carga parcial, las condiciones climáticas y el consumo eléctrico auxiliar. Como resultado, las eficiencias estacionales proporcionan una estimación más realista del rendimiento anual y suelen ser inferiores a los valores nominales.

COP en diferentes intervalos de tiempo: instantáneo (por hora en este caso), mensual y anual. Se muestra el valor nominal a modo de referencia



$$SCOP = \frac{\sum_{period} Q_{heating}}{\sum_{period} E}$$

14.5 Requisitos térmicos e hidráulicos de las bombas de calor

Las bombas de calor tienen requisitos térmicos e hidráulicos específicos que deben respetarse para garantizar su eficiencia, fiabilidad y una larga vida útil.

Un diseño adecuado del sistema debe tener en cuenta:

- El rango de funcionamiento de la máquina,
- Las temperaturas de entrada y salida del agua,
- Caudal mínimo de agua,
- La inercia térmica mínima del circuito de agua.

Si no se cumplen estas condiciones, incluso una bomba de calor de alta eficiencia puede presentar un rendimiento deficiente, ciclos frecuentes o paradas de protección.

En esta sección se presentan las principales restricciones de diseño que vinculan la bomba de calor con el sistema de distribución de calefacción o refrigeración.

14.5 Requisitos térmicos e hidráulicos de las bombas de calor

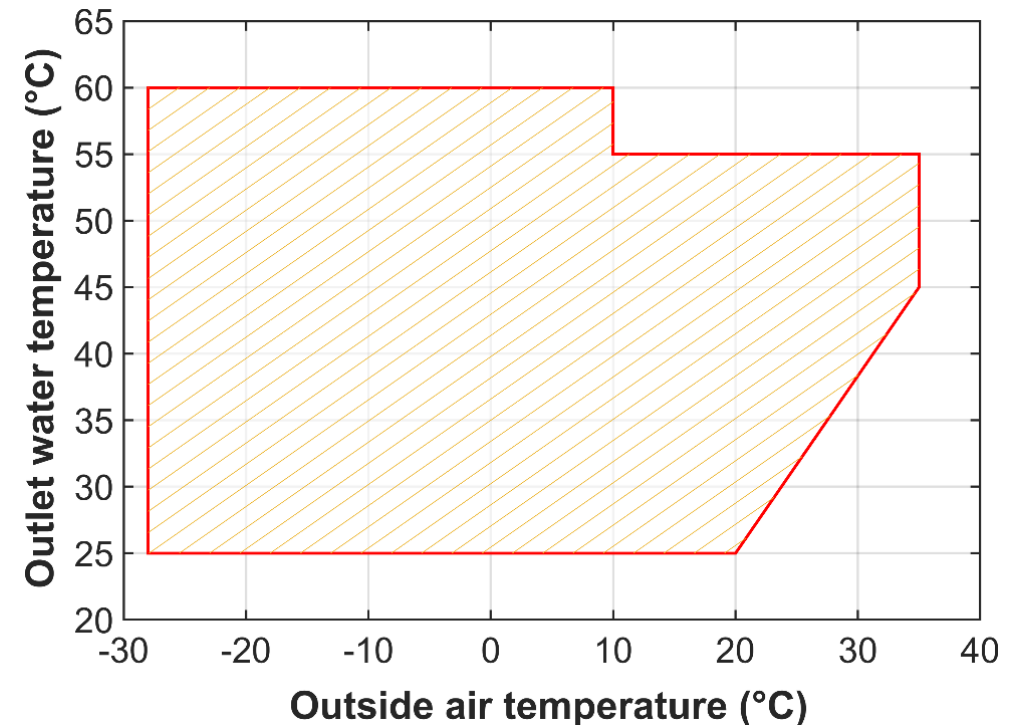
Rango de funcionamiento permitido

- Las bombas de calor solo pueden funcionar de forma fiable dentro de un rango de funcionamiento definido, que especifica el intervalo admisible de temperaturas de la fuente y del sumidero. Este rango viene determinado por los límites de presión del compresor, las propiedades del refrigerante y las restricciones de control y seguridad.
- El funcionamiento fuera de estos límites provoca una rápida degradación de la eficiencia y puede desencadenar paradas de protección.
- Por lo tanto, un diseño adecuado del sistema debe garantizar que la bomba de calor funcione la mayor parte del tiempo dentro de las regiones favorables del rango de funcionamiento, donde la eficiencia es alta y el estrés mecánico es limitado.



Más detalles: consulte la sección 14.5.1

Ejemplo de envolvente de funcionamiento

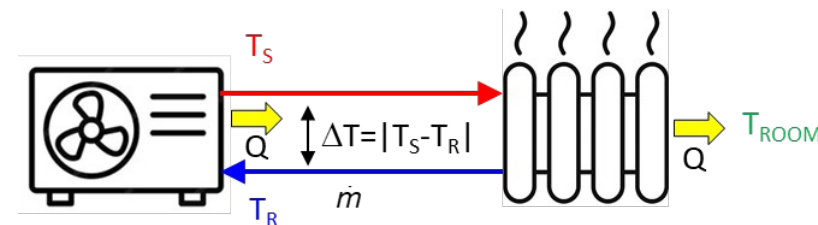


14.5 Requisitos térmicos e hidráulicos de las bombas de calor

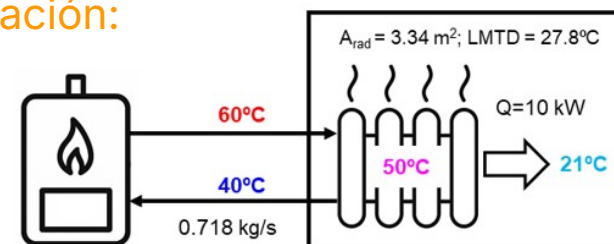
Temperatura de impulsión y diferencia de temperatura

- La temperatura de impulsión del sistema de calefacción o refrigeración influye considerablemente en la eficiencia de la bomba de calor.
- Temperatura de impulsión de calefacción:** En los sistemas de bomba de calor, la temperatura de impulsión debe mantenerse lo más baja posible sin dejar de satisfacer la demanda, ya que las temperaturas más bajas reducen la presión de condensación y mejoran el COP. Los valores típicos son de unos 35 °C para la calefacción por suelo radiante, de 45–55 °C para radiadores y fancoils, y >50 °C para el agua caliente sanitaria.
- Diferencial de temperatura del agua (ΔT):** Los valores típicos de diseño para ΔT son de 5–10 K (en el caso de las calderas era de 20 K). Unas diferencias de temperatura mayores reducen el gradiente de temperatura entre los emisores y la estancia, lo que requiere superficies emisoras de calor sobredimensionadas para proporcionar la misma potencia térmica.
- Funcionamiento en refrigeración:** En modo de refrigeración, la temperatura del agua de impulsión debe ser lo más alta posible para mejorar el EER al reducir el trabajo del compresor. Las temperaturas de impulsión típicas oscilan entre 18 °C y 20 °C, con $\Delta T \approx 4\text{--}6\text{ K}$, dependiendo de la unidad de climatización. Los requisitos de confort interior y el riesgo de condensación de agua en superficies frías.

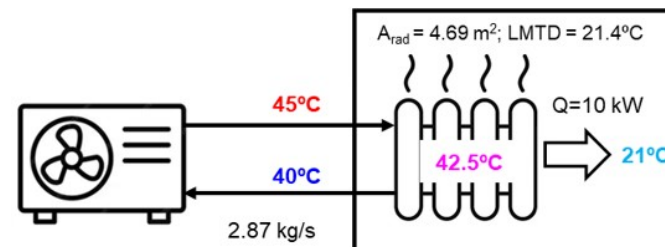
Temperaturas de impulsión y retorno y ΔT en el circuito de agua de una bomba de calor



Niveles típicos en sistemas de calderas de condensación:



Niveles típicos en sistemas de bomba de calor:



14.5 Requisitos térmicos e hidráulicos de las bombas de calor

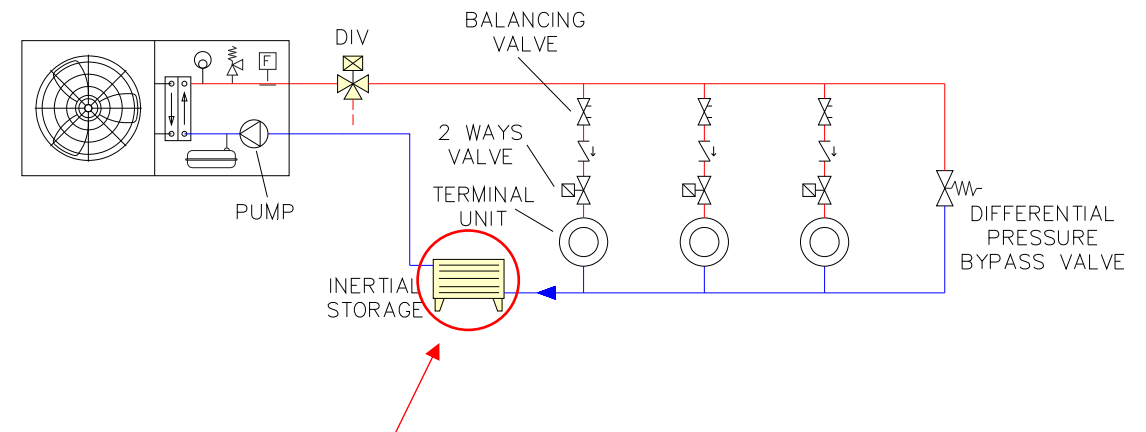
Caudales mínimos y nominales, inercia térmica

- Un caudal de agua adecuado a través del intercambiador de calor de la bomba de calor es esencial para un funcionamiento seguro y eficiente. Cada unidad tiene un **caudal mínimo admisible** por debajo del cual la transferencia de calor se vuelve insuficiente y puede producirse un daño en el compresor. Este requisito es muy importante para el diseño hidráulico del circuito de agua (Lección 17)
- Se requiere suficiente **inercia térmica** en el circuito de agua para evitar ciclos cortos (encendido y apagado rápido del compresor), especialmente en funcionamiento a carga parcial. La inercia térmica puede proporcionarse mediante el volumen de agua del propio sistema o mediante la instalación de un depósito de inercia. El fabricante de la bomba de calor siempre indicará el volumen mínimo de agua al que debe tener acceso la bomba de calor durante su funcionamiento. Los valores indicativos para las bombas de calor modernas son de 25 a 35 litros/kWt

Caudal mínimo indicativo de agua a través de la bomba de calor

Heat pump nominal power (kW)	3 – 4	5 – 6	7 – 8	9 – 10	11 – 12	14 – 16	18 – 25
Minimum flow rate as a percentage of the nominal flow rate	80 %	70%	60%	55%	50%	45%	40%

Ejemplo de circuito de distribución de agua



Pequeño depósito de agua (por ejemplo, de 30 litros para una bomba de calor de 10 kW) que garantiza la inercia térmica mínima; más detalles en la Lección 17

LECCIÓN 15

Emisores de calor para sistemas de bomba de calor



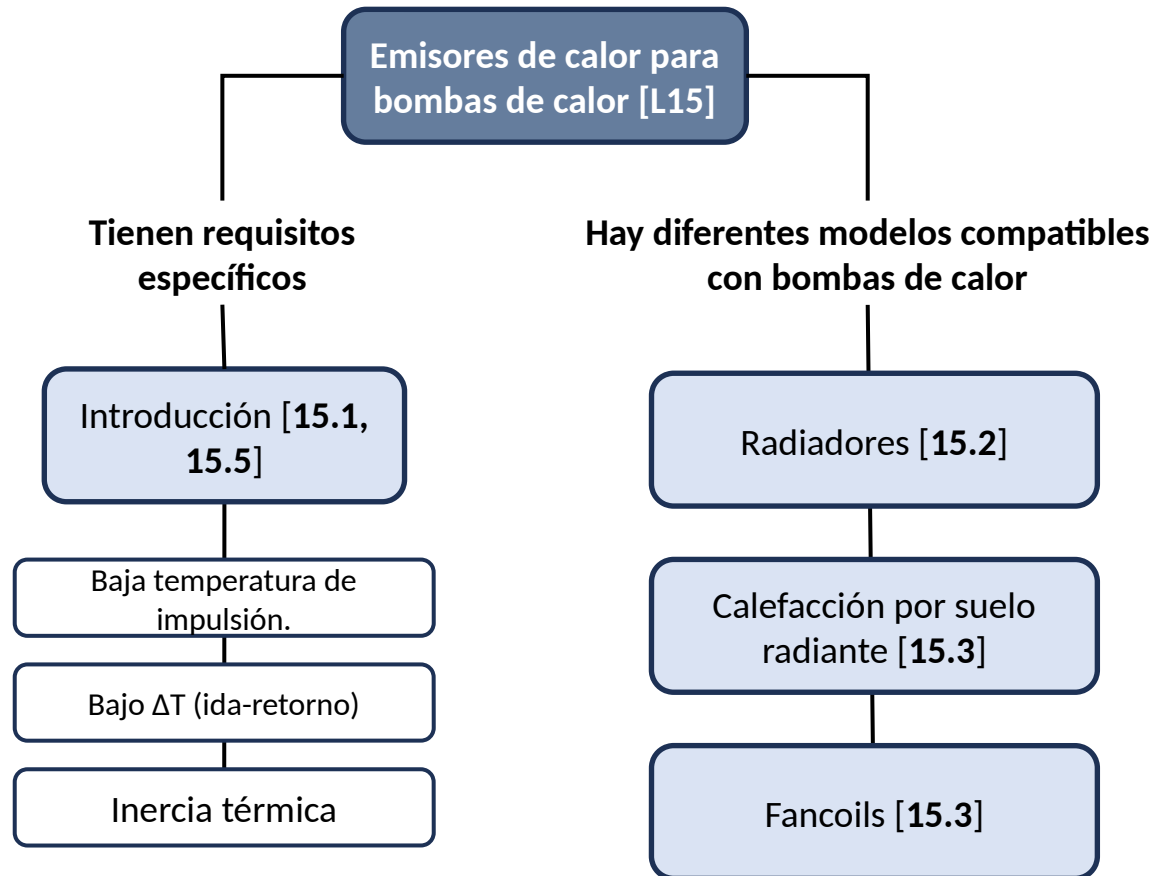
Co-funded by
the European Union



Objetivos de la lección 15

1. Comprender la función de los emisores de calor (unidades terminales) en los sistemas de bomba de calor hidrónica y cómo sus temperaturas de funcionamiento afectan a la eficiencia general del sistema.
2. Comparar radiadores, calefacción por suelo radiante y unidades fan coil en cuanto a mecanismos de transferencia de calor, inercia térmica e idoneidad para el funcionamiento de bombas de calor a baja temperatura.
3. Analizar las implicaciones de la adaptación de los sistemas de alta temperatura existentes a bombas de calor, incluyendo los impactos en la potencia calorífica, los caudales de agua y las opciones de diseño del

Contenido de la lección 15



Co-funded by
the European Union



15.1 Introducción

- Los emisores de calor, también conocidos como unidades terminales, son los componentes de un sistema de calefacción o refrigeración hidrónico que transfieren la energía térmica del circuito de agua de la bomba de calor a los espacios interiores climatizados.
- Su selección es una decisión de diseño fundamental, ya que las bombas de calor funcionan con mayor eficiencia a temperaturas de impulsión relativamente bajas (impulsión $<50\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- Por lo tanto, el tipo de emisor utilizado tiene un impacto directo en el rendimiento general, la eficiencia estacional y el confort que proporciona el sistema.
- En los proyectos de rehabilitación, los emisores de calor se convierten en una limitación crítica, ya que los sistemas diseñados originalmente para calderas de alta temperatura a menudo deben funcionar a temperaturas más bajas cuando se instala una bomba de calor. Por lo tanto, evaluar la compatibilidad de los emisores existentes es esencial para la viabilidad técnica y económica de la rehabilitación.

Esta lección se centra en las unidades terminales más comunes utilizadas en los sistemas de bomba de calor y analiza su idoneidad tanto para nuevas instalaciones como para proyectos de rehabilitación.

15.2 Radiadores

Definición

- Los radiadores son unidades terminales hidrónicas en las que el agua calentada circula a través de un cuerpo metálico que libera calor a la estancia mediante una combinación de convección y radiación térmica. En los edificios residenciales, la convección suele representar la mayor parte de la transferencia de calor.
- El rendimiento de los radiadores depende del material y de su construcción. Los radiadores **de hierro fundido** tienen una alta inercia térmica y una respuesta lenta; los radiadores **de paneles de acero** presentan una inercia moderada y son muy utilizados; y **los radiadores de aluminio** tienen una baja inercia térmica y una respuesta dinámica rápida.
- Tradicionalmente, los radiadores se ensayaban con una diferencia de temperatura ΔT de 50 °C, lo que corresponde a las altas temperaturas de impulsión típicas de los sistemas de calefacción (antes la diferencia entre la temperatura media del radiador y la temperatura ambiente).

Radiador de aluminio (izquierda), radiador de acero (centro), radiador de hierro fundido (derecha)



15.2 Radiadores

Potencia calorífica

- La potencia calorífica de un radiador depende del coeficiente global de transferencia de calor, de la superficie de emisión y de la diferencia de temperatura entre el radiador y la estancia. Los coeficientes globales de transferencia de calor típicos oscilan entre 10 y 15 W/m²K (convección + radiación)
- Los fabricantes suelen indicar la potencia calorífica por elemento de radiador para diferentes valores de ΔT . Por ejemplo, en el modelo de la figura, un solo elemento de radiador emite 63,7 W con $\Delta T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para cubrir una carga máxima de calefacción de 900 W, se necesitarían un total de 15 elementos
- La ecuación característica, utilizando un exponente (**n**) típicamente entre 1,25 y 1,25 permite estimar la potencia del radiador a diferentes niveles de temperatura, si se conoce un punto de referencia.



$$Q = Q_{nom} \left(\frac{\Delta T}{\Delta T_{nom}} \right)^n$$

Ejemplo de tabla de dimensionamiento de radiadores

Model	Heat emission					
	$\Delta T\ 20$	$\Delta T\ 30$	$\Delta T\ 40$	$\Delta T\ 50$	$\Delta T\ 60$	$\Delta T\ 70$
	W/elem.	W/elem.	W/elem.	W/elem.	W/elem.	W/elem.
350/100	28,6	48,0	69,4	92,4	116,8	142,3
500/100	37,6	63,7	92,7	124,0	157,2	192,1
600/100	43,5	73,8	107,3	143,5	181,9	222,3
700/100	48,3	82,6	120,9	162,5	206,8	253,6
800/100	52,7	90,3	132,4	178,2	227,1	278,8

Model	Code	Width	Height	Axis-axis	Length	Connection diameter	Water content	Exponent	Coefficient
		(C) mm	(B) mm	(A) mm	(D) mm	inches	liter/elem.	n	Km
350/100	VC05xx014	97	407	350	80	G1	0,24	1,2818	0,613
500/100	VC05xx034	97	557	500	80	G1	0,27	1,3027	0,758
600/100	VC05xx044	97	657	600	80	G1	0,29	1,3015	0,882
700/100	VC05xx054	97	757	700	80	G1	0,35	1,3238	0,915
800/100	VC05xx064	97	857	800	80	G1	0,38	1,3301	0,979

Más detalles: consulte la sección 15.2.1



15.2 Radiadores

Radiators in renovation projects

- In renovation projects, radiators originally designed for boiler systems often operate at reduced temperatures when connected to a heat pump

Example:

Original installation

Heat generator: gas boiler

Supply/return temperature: 70°C/50°C ($\Delta T_{\text{water}} = 20^\circ\text{C}$)

Room temperature = 20°C

Radiator – room temperature difference

$$(\Delta T) = (70+50)/2 - 20 = 40^\circ\text{C}$$

Heat emission = **800 W**

$$\text{Water flow} = Q / (c_p \cdot \Delta T_{\text{water}}) = 0.57 \text{ liter/min}$$

Renovated installation

Heat generator: heat pump

Supply/return temperature: 50°C/40°C ($\Delta T_{\text{water}} = 10^\circ\text{C}$)

Room temperature = 20°C

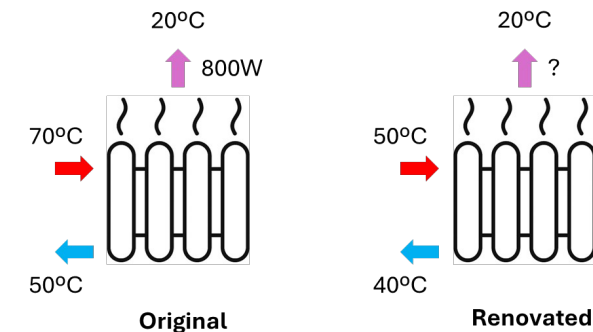
Radiator – room temperature difference

$$(\Delta T) = (50+40)/2 - 20 = 25^\circ\text{C}$$

Heat emission. Assuming $n=1.3$ and applying the characteristic equation

$$Q = 800 \left(\frac{\Delta T}{40} \right)^{1.3} = \left(\frac{25}{40} \right)^{1.3} = \mathbf{434.24W}$$

Water flow = 0.62 liter/min for the new Q and ΔT_{water}



- Los radiadores existentes pueden seguir siendo viables si son de gran tamaño, si se reduce la demanda de calefacción del edificio mediante el aislamiento y la mejora de las ventanas, o si se instalan emisores adicionales o asistidos por ventilador.

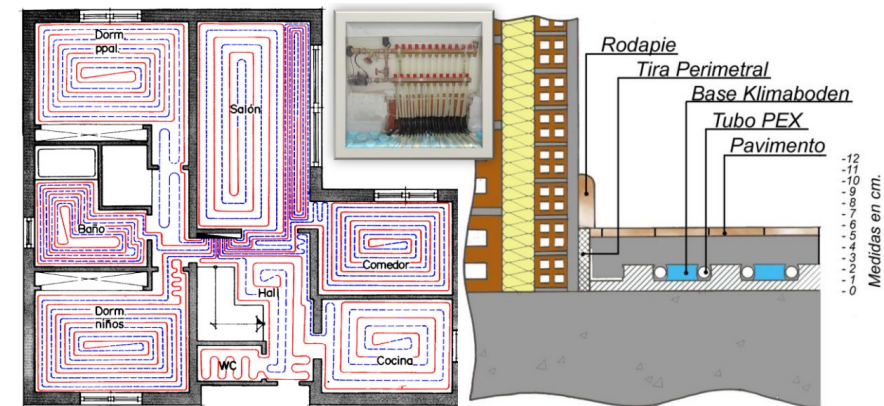
15.3 Calefacción por suelo radiante

- La calefacción por suelo radiante es un sistema en el que el agua caliente circula por tuberías de plástico empotradas en el suelo de las habitaciones, transfiriendo calor desde una gran superficie.
- Debido a esta gran superficie, la calefacción por suelo radiante puede proporcionar una calefacción adecuada del espacio con bajas temperaturas de agua de impulsión, normalmente entre 30 °C y 45 °C. Los flujos de calor máximos suelen oscilar entre 50 y 70 W/m², lo que es suficiente para la mayoría de los edificios bien aislados.
- Las temperaturas de la superficie del suelo suelen limitarse a unos 29 °C por motivos de confort y seguridad.
- Los sistemas de calefacción por suelo radiante tienen una alta masa térmica y tiempos de respuesta lentos, que a menudo superan la hora, pero proporcionan temperaturas interiores muy estables y son **altamente compatibles con el funcionamiento de las bombas de calor**.

Ejemplo de tuberías de suelo radiante



Ejemplo de distribución de circuitos en una vivienda



Más detalles: consulte la sección 15.3

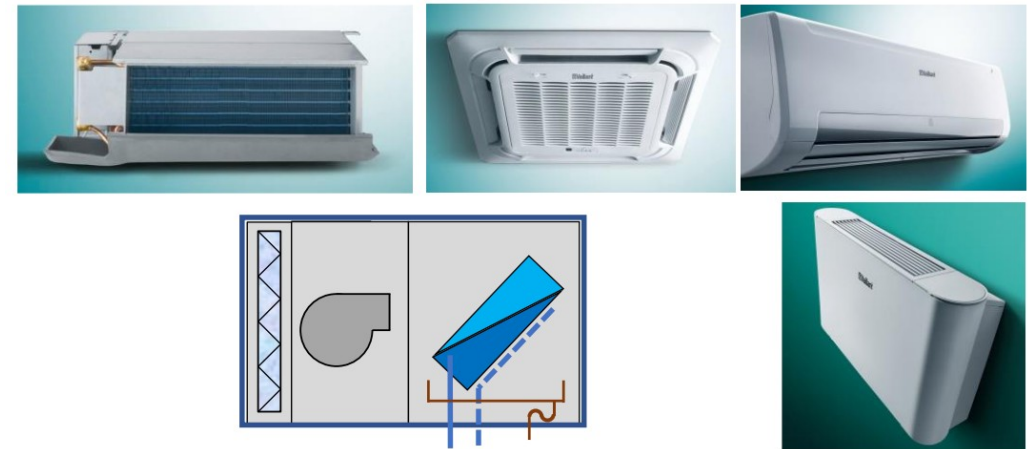


15.4 Fancoils

- Los fan coils son unidades terminales hidrónicas que utilizan la convección de aire forzado para transferir calor entre el circuito de agua y el aire interior.
- Constan de un intercambiador de calor con aletas y un ventilador integrado que mueve activamente el aire a través del serpentín.
- En **modo calefacción**, los fan coils modernos pueden funcionar eficazmente con temperaturas del agua de 45–50 °C, lo que los hace adecuados para sistemas de bomba de calor.
- En **modo de refrigeración**, los fan coils suelen utilizar agua refrigerada a aproximadamente 7–12 °C, lo que permite tanto la refrigeración sensible como la deshumidificación mediante condensación.

Esta doble capacidad hace que los fan coils sean especialmente útiles en sistemas que requieren calefacción y refrigeración durante todo el año.

Diferentes modelos de unidades de fan coil (fuente: ATECYR)



Co-funded by
the European Union

Más detalles: consulte la sección 15.4



15.5 Niveles de temperatura

- Los sistemas de bomba de calor funcionan a **niveles de temperatura** significativamente **más bajos que los sistemas de calderas tradicionales**.
- Los radiadores adaptados para bombas de calor suelen utilizar temperaturas de impulsión y retorno de unos 55 °C/45 °C, mientras que los fan coils funcionan a aproximadamente 45 °C/40 °C en modo calefacción. Los sistemas de calefacción por suelo radiante suelen funcionar a 30 °C/25 °C.
- Para aplicaciones de refrigeración, los suelos radiantes suelen funcionar a unos 15 °C/20 °C, mientras que los fan coils requieren agua más fría, normalmente entre 7 °C y 12 °C, para garantizar una refrigeración y deshumidificación eficaces.

Estos niveles de temperatura reducidos son esenciales para mantener una alta eficiencia de la bomba de calor y un rendimiento fiable del sistema.

Aplicación	TRADICIONAL Salida/retorno (°C)	ADAPTADO A BOMBA DE CALOR Idem
Agua caliente sanitaria (circuito primario)	80/60	60/50(*)
Radiadores	60/40	55/45
Fancoils	50/40	45/40
Suelos radiantes (calefacción)	35/30	30/25
Suelos radiantes (refrigeración)	14/18	15/20
Refrigeración	7/12	10/15
(*) puede reducirse en los hogares		

La mejor opción es combinarlo con una bomba de calor (para calefacción)



LECCIÓN 16

Producción de agua caliente sanitaria con bombas de calor



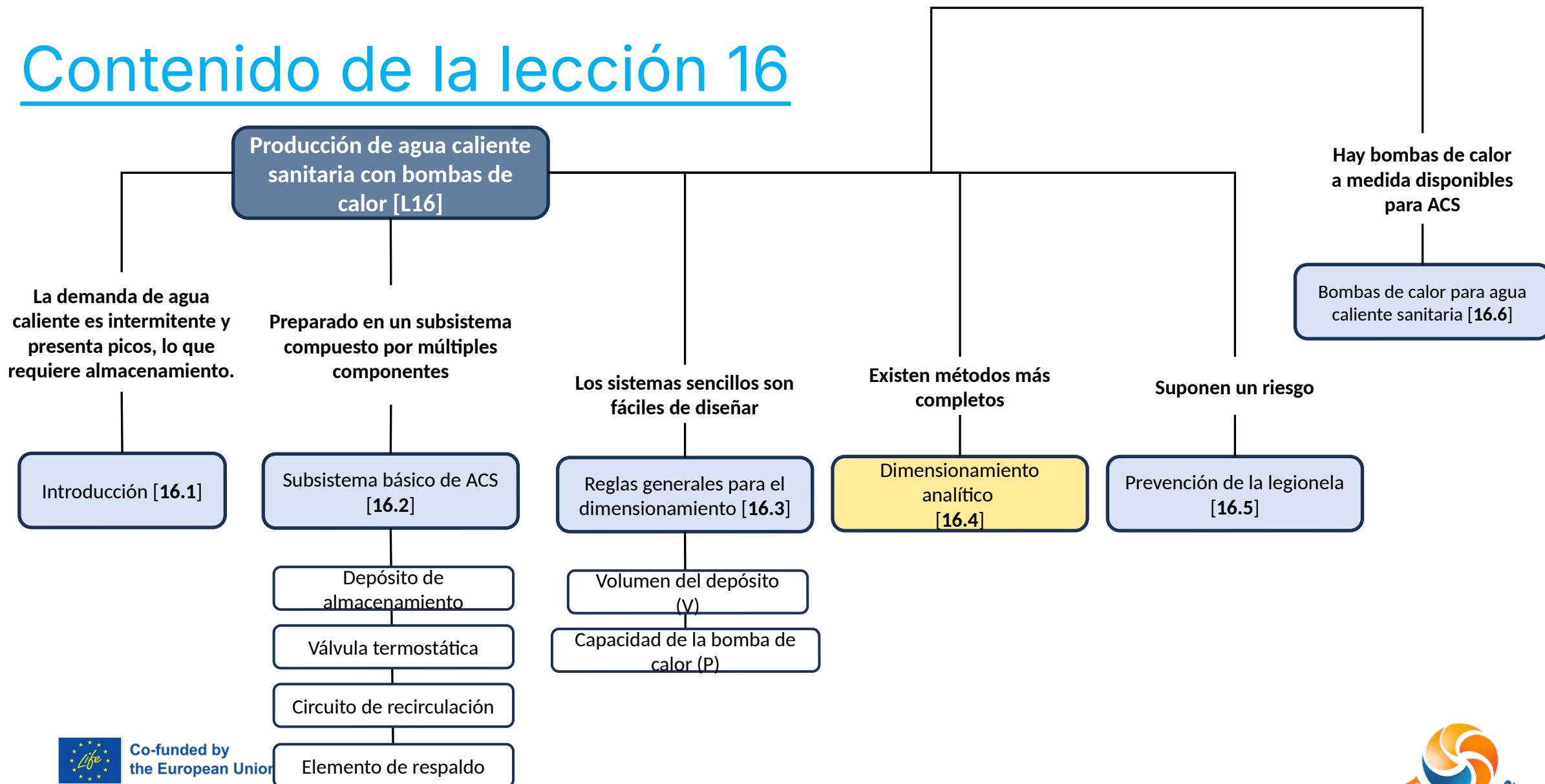
Co-funded by
the European Union



Objetivos de la lección 16

1. Comprender los retos que plantea la producción de agua caliente sanitaria con bombas de calor, en particular el desfase entre la demanda instantánea de agua caliente, la potencia térmica disponible en la bomba de calor, y el tiempo de respuesta de la máquina
2. Identificar y describir los principales componentes de los subsistemas de agua caliente sanitaria en instalaciones con bombas de calor: depósitos de almacenamiento, intercambiadores de calor, válvulas mezcladoras, circuitos de recirculación y calentadores auxiliares, prestando atención a los niveles de temperatura y a los requisitos de higiene.
3. Aplicar principios prácticos de dimensionamiento y métodos analíticos básicos para seleccionar los volúmenes de almacenamiento de agua caliente sanitaria y las capacidades de las bombas de calor adecuados, teniendo en cuenta los perfiles de demanda de los usuarios, el tiempo de recuperación, la eficiencia energética y las restricciones para la prevención de la Legionella.

Contenido de la lección 16



Co-funded by
the European Union

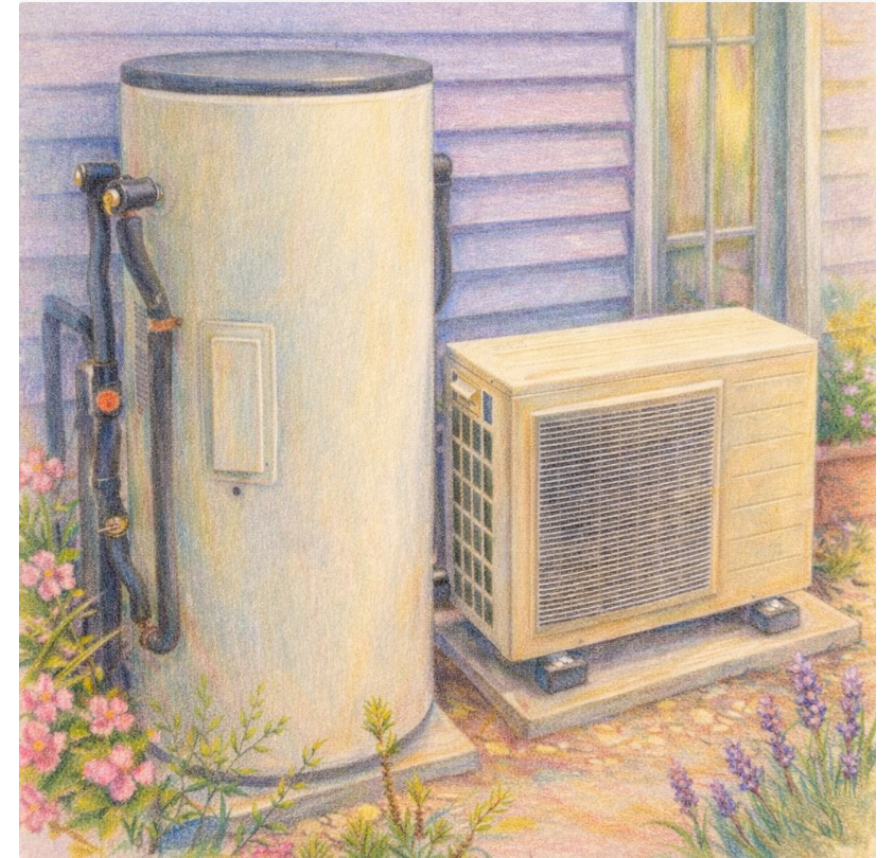


16.1 Introducción

- El agua caliente sanitaria, abreviada como ACS, se refiere al suministro de agua potable caliente para usos sanitarios, como duchas, lavabos y electrodomésticos.
- En los edificios residenciales, la temperatura del agua caliente suministrada en el punto de uso suele oscilar entre 40 °C y 45 °C, mientras que durante la preparación se requieren temperaturas más altas para garantizar la higiene y una capacidad de almacenamiento adecuada.
- En los sistemas de bomba de calor, la producción de ACS plantea retos específicos, ya que la demanda de agua caliente es muy intermitente y se concentra en periodos cortos, mientras que las bombas de calor suministran una potencia térmica relativamente baja y constante. Por este motivo, los sistemas de agua caliente sanitaria que utilizan bombas de calor **siempre dependen de depósitos de almacenamiento térmico** que actúan como acumuladores de energía entre la producción y el consumo.

16.1 Introducción

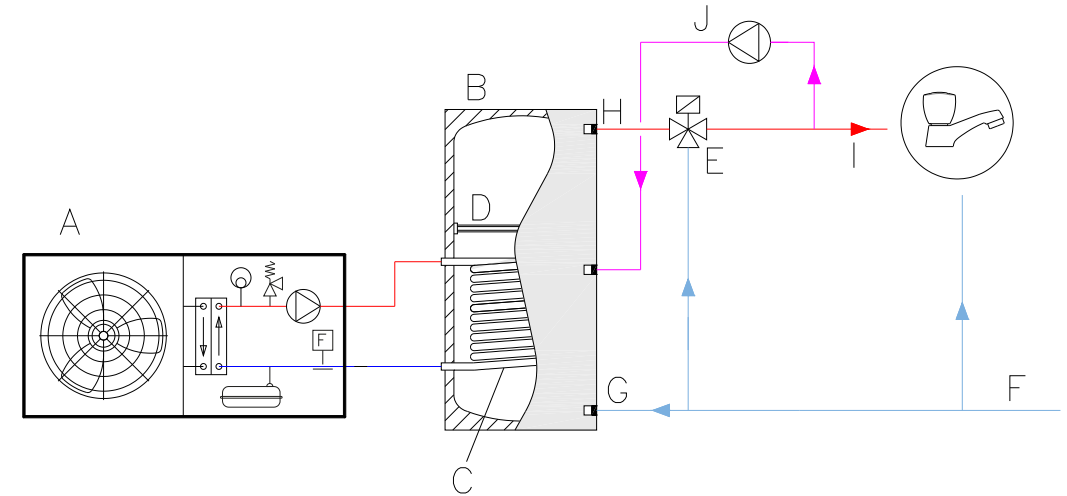
- Una bomba de calor doméstica suele proporcionar una potencia térmica de entre 5 y 10 kW
- Una sola ducha requiere una potencia de calentamiento instantánea mucho mayor. Por ejemplo, una ducha que suministra 12 l/min a 45 °C a partir de una temperatura de entrada de agua fría de 10 °C requiere alrededor de 30 kW de potencia térmica. En una ducha de 5 minutos, la demanda energética total es de aproximadamente 2,44 kWh
- Dado que una bomba de calor no puede suministrar esta potencia de forma instantánea, la energía debe almacenarse previamente
- Los depósitos de almacenamiento en viviendas unifamiliares suelen tener una capacidad de entre 180 y 250 L, lo que permite varias duchas consecutivas mientras la bomba de calor recarga el depósito



Bomba de calor aire/agua con depósito de almacenamiento de agua caliente

16.2 Subsistema básico de agua caliente sanitaria

- El subsistema de agua caliente sanitaria de una instalación de bomba de calor consta de varios componentes clave.
- La bomba de calor (**A**) transfiere energía térmica a un depósito de almacenamiento a través de un intercambiador de calor interno o externo (**C**), normalmente un serpentín sumergido en el depósito.
- El depósito de almacenamiento mantiene el agua caliente a una temperatura de consigna típica de 50-55 °C y está diseñado para favorecer la estratificación térmica, de modo que el agua caliente se acumule en la parte superior y el agua más fría permanezca en la parte inferior.
- A menudo se integra un calentador eléctrico de resistencia auxiliar (**D**) para cubrir picos de demanda o para elevar la temperatura del agua por encima de los 60 °C con fines de desinfección higiénica.
- Una válvula mezcladora termostática (**E**) situada a la salida del depósito mezcla el agua caliente (**H**) y el agua fría (**F**, de la red) para suministrar agua a temperaturas seguras a los grifos y duchas (**I**).
- El circuito de recirculación (**J**) emplea una pequeña bomba para hacer circular el agua caliente a través de la red de distribución independientemente de la demanda de los usuarios, lo que garantiza que el agua de las tuberías se mantenga caliente y esté disponible de inmediato en cada salida.



Circuito típico de agua caliente sanitaria con una bomba de calor aire/agua

16.3 Reglas generales para el dimensionamiento

Volumen del depósito (V)

- El depósito de agua caliente sanitaria actúa como un acumulador de energía, y su volumen debe ajustarse a la demanda del hogar.
- Una regla general habitual en Europa es prever entre 35 y 45 L de agua caliente almacenada por persona a aproximadamente 55 °C.
- Para un **hogar pequeño de una o dos personas**, suele ser suficiente un depósito de 100-150 L.
- **Los hogares medianos de tres a cuatro personas** suelen necesitar entre 180 y 200 L, lo que permite dos o tres duchas consecutivas de 5 minutos a 12 L/min.
- **Los hogares grandes con cinco o más ocupantes** suelen utilizar depósitos de 250-300 l.

Los sistemas de bomba de calor suelen requerir depósitos ligeramente más grandes que los sistemas de caldera debido a su menor potencia de carga (50 litros adicionales para las bombas de calor).

Más detalles: consulte la sección 16.3.1



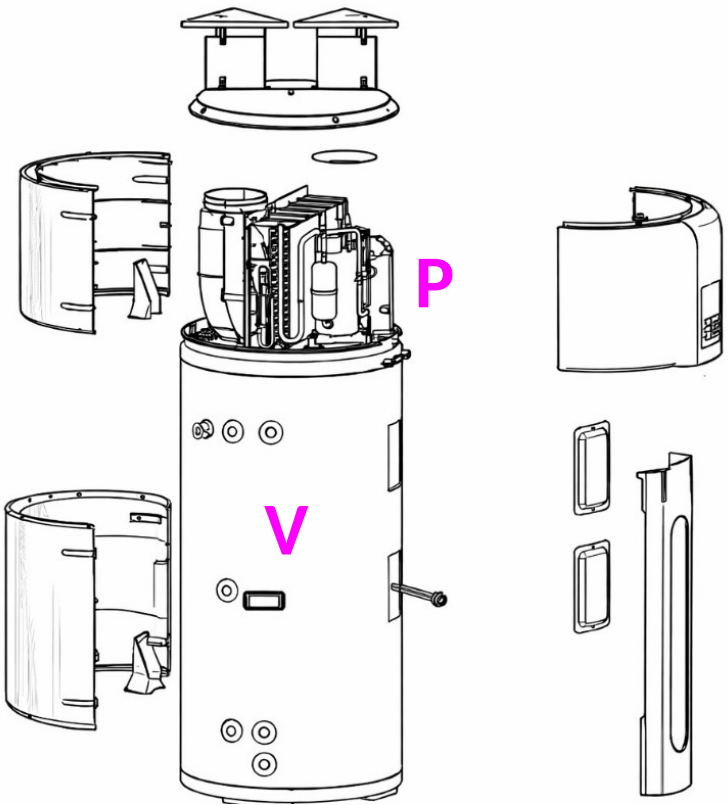
Depósitos de diferentes tamaños

16.3 Relación entre el volumen del depósito y la potencia de la bomba de calor

Capacidad de la bomba de calor (P)

- La relación entre el volumen del depósito y la potencia de la bomba de calor depende del **tiempo de recuperación** deseado, definido como el **tiempo necesario para volver a calentar el depósito tras una descarga completa**.
- Para un aumento de temperatura típico de 40 K, una relación práctica es que se requieren aproximadamente 22 L de volumen de almacenamiento por kilovatio de capacidad de la bomba de calor por cada hora de tiempo de recuperación. Por ejemplo, un sistema diseñado para una recuperación de 2 horas requiere unos 40-45 L por kW, mientras que una recuperación más lenta de 4 horas puede requerir más de 80 L por kW. Los tiempos de recuperación más largos permiten utilizar bombas de calor más pequeñas, pero limitan la disponibilidad de agua caliente durante los periodos de mayor demanda.

Tiempo de recuperación n (horas)	V/P típico (litros de ACS/kWt)	Comentario
1	20-25 L/kW	Recuperación rápida
2	40-45 L/kW	Recomendable para sistemas domésticos
3	60-65 L/kW	
4 +	80 L/kW y más	Grandes picos de demanda y recuperación más lenta



Depósito de agua caliente con bomba de calor



Co-funded by
the European Union



Más detalles: consulte la sección
16.3.2



16.4 Dimensionamiento analítico y el concepto de demanda máxima

En la sección 16.4 de la documentación se describe un método analítico sencillo para explorar con mayor detalle la relación entre el volumen y la potencia calorífica. El estudio de este método es opcional.

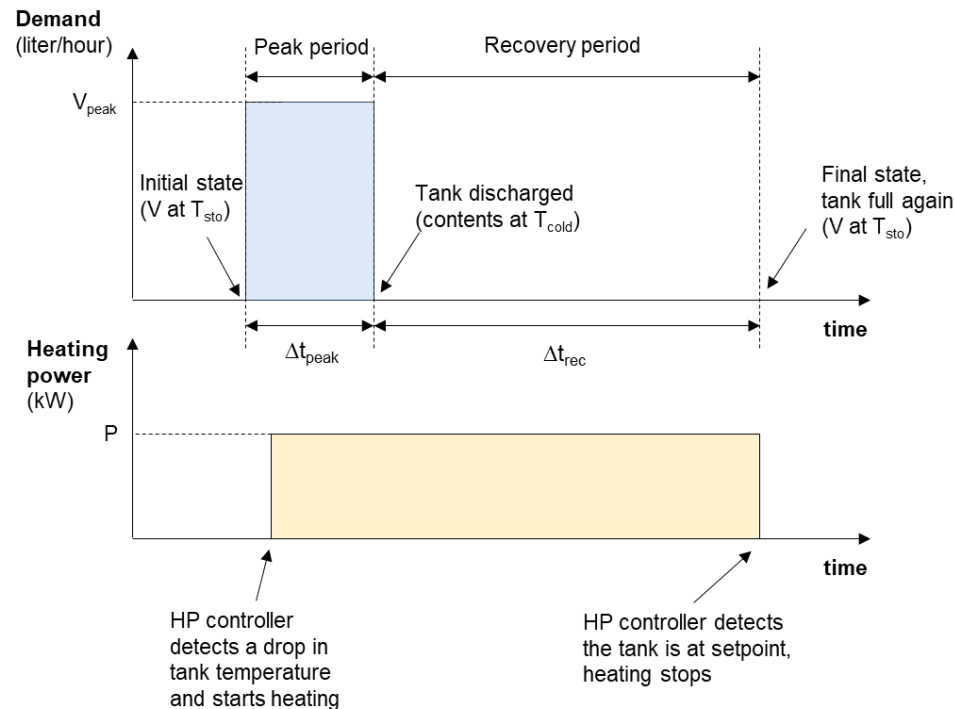


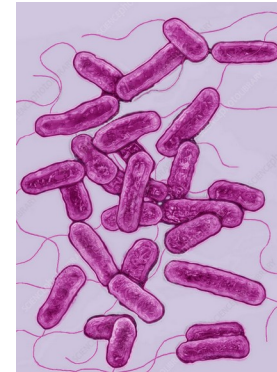
Table 16-4. Example of application of the method. Grey shadow = user input

VARIABLE		VALUE	UNIT	DATA SOURCE/CALCULATION FORMULA
DEMAND AND TEMPERATURES				
A	Reference hot water consumption	4032	liter/day	National regulations
B	Reference temperature	60	°C	National regulations
C	Storage temperature (T_{sto})	55	°C	50°C typical residences, >60°C public buildings
D	Final use temperature (T_{use})	40	°C	Outlet temperature of the tap
E	Cold water temperature	10	°C	Minimum temperature of mains water at the site
F	Daily hot water consumption at T_{sto}	4480.0	liter/day	$=A*(B-E)/(C-E)$
G	Daily hot water consumption at T_{use}	6720.0	liter/day	$=A*(B-E)/(D-E)$
PEAK AND RECOVERY SCENARIOS				
H	% of daily consumption at peak period	60.0%		Calculation hypothesis
I	Peak consumption	2199.3	liter	$=H*F$
J	Duration of peak period	1	hours	Calculation hypothesis
K	Duration of recovery period	3	hours	2 to 4 hours typical
L	Response time of the heat pump	5	min	5 min typical
OTHER DATA				
M	Demand increase due to thermal losses	1.25		>1.25 (sometimes much more if bad insulation)
N	Utilization factor of the storage	0.86		Typical 0.86
STORAGE VOLUME AND HEAT PUMP POWER				
O	Total storage volume	4000	liter	User decision (typical between I and A)
P	HP capacity for peak period	-4.56	kW	$= (M*I-N*O)*4.18*(C-E)/((J-L/60)*3600)$
Q	HP capacity for recovery period	69.67	kW	$= O*4.18*(C-E)/K/3600$
R	HP capacity	69.67	kW	$= \text{Maximum}(P,Q)$
S	HP capacity	57.42	liter/kW	$= O/R$

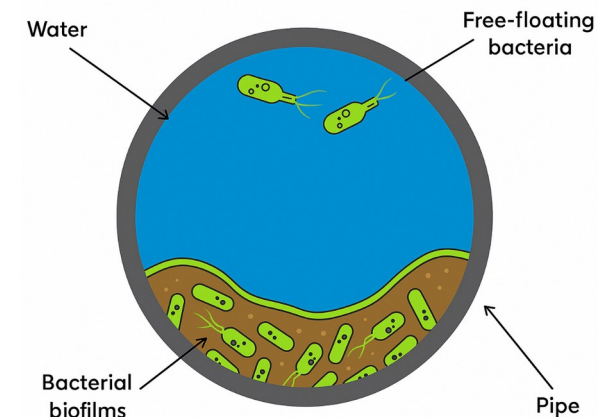
16.5 Prevención de la legionela

- La *Legionella pneumophila* es una bacteria que puede proliferar en los sistemas de agua caliente cuando las temperaturas se mantienen entre 20 °C y 45 °C.
- Los sistemas domésticos de agua caliente con depósitos de almacenamiento y circuitos de recirculación son especialmente vulnerables debido a las zonas de estancamiento y a los gradientes de temperatura.
- Para reducir el riesgo, la mayoría de las normativas exigen temperaturas de almacenamiento de al menos 60 °C y temperaturas de recirculación superiores a 50-55 °C.
- A menudo se exigen ciclos periódicos de desinfección térmica que elevan la temperatura del agua por encima de los 70 °C.

Estos requisitos plantean retos para las bombas de calor, que son más eficientes a temperaturas más bajas y pueden requerir calentadores auxiliares (resistencias eléctricas) o diseños especiales para altas temperaturas.



Legionella pneumophila



Crecimiento de la bacteria en una biopelícula

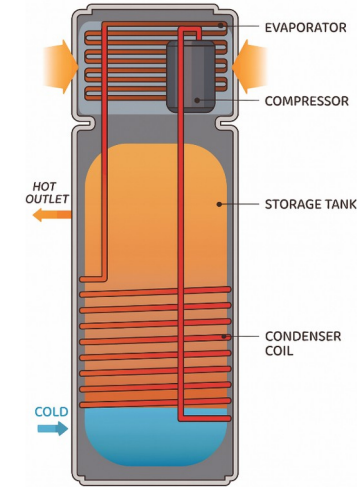


Co-funded by
the European Union



16.6 Bombas de calor para agua caliente sanitaria

Las bombas de calor específicas para agua caliente sanitaria integran la bomba de calor y el depósito de almacenamiento en una única unidad compacta, normalmente con capacidades de almacenamiento de entre 150 y 300 litros. Estos sistemas suelen extraer calor del aire exterior, del aire interior o del aire de ventilación de extracción. Se utilizan ampliamente en viviendas unifamiliares debido a su facilidad de instalación y a su rendimiento predecible.



En edificios grandes o regulados, como hoteles y hospitales, **las bombas de calor de alta temperatura que utilizan refrigerantes como el CO₂** pueden producir agua a 70-90 °C, lo que permite una producción eficiente de agua caliente sanitaria al tiempo que se cumplen plenamente los requisitos de prevención de la legionela.

Bomba de calor para producción de agua caliente Mitsubishi QTON CO₂



Co-funded by
the European Union



LECCIÓN 17

Sistemas de bomba de calor



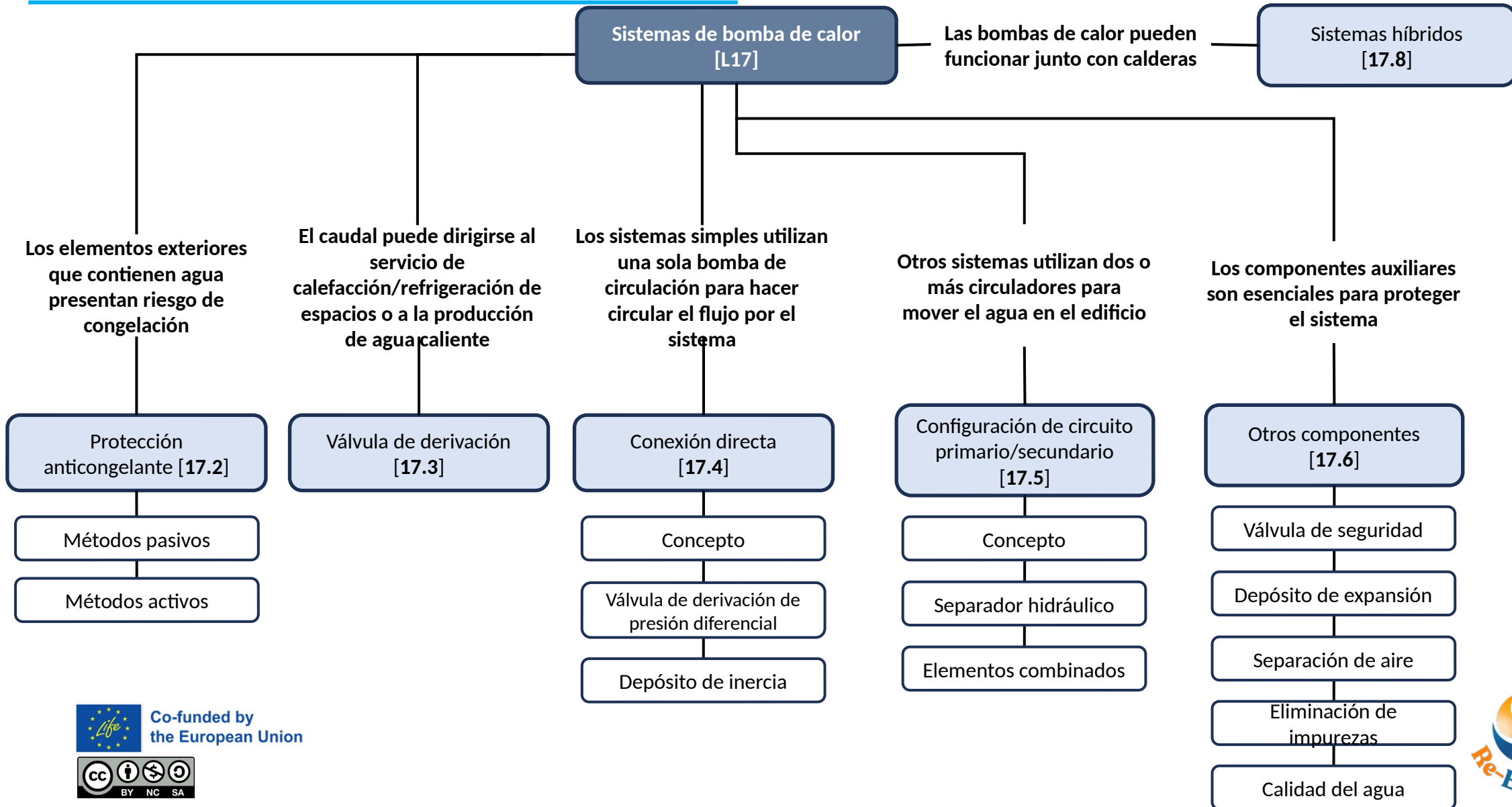
Co-funded by
the European Union



Objetivos de la lección 17

1. Identificar los principales componentes hidráulicos utilizados en los sistemas de bomba de calor y comprender sus funciones para garantizar un funcionamiento seguro, estable y eficiente (circulación, protección, separación y control)
2. Comprender las diferentes configuraciones hidráulicas (conexión directa, circuitos primario y secundario, uso de depósitos de inercia y separadores) y los criterios para seleccionar una disposición adecuada
3. Analizar las estrategias de protección y fiabilidad del sistema, incluidos anticongelantes, caudal mínimo, control de presión, eliminación de aire y suciedad, y su impacto en el rendimiento a largo plazo.

Contenido de la lección 17



17.1 Resumen

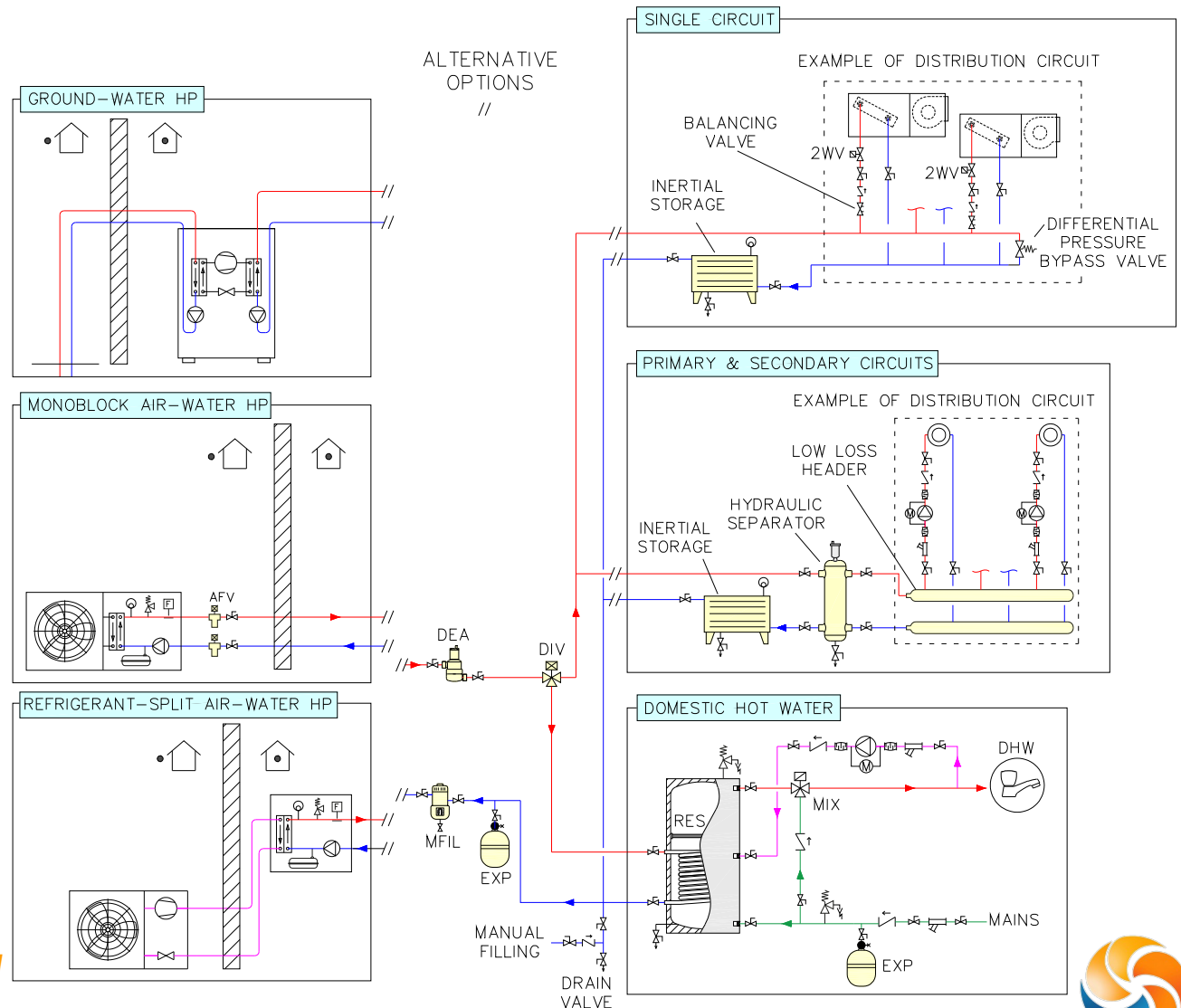
- Los sistemas de bomba de calor requieren de un conjunto de componentes hidráulicos que conectan la bomba de calor con el edificio para suministrar calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria.
- Estos componentes garantizan la correcta circulación del agua, la distribución del calor, la estabilidad hidráulica, el control de la presión, la eliminación de aire y suciedad, la gestión de la calidad del agua y la protección contra la congelación.
- Una integración adecuada es esencial para garantizar un funcionamiento estable, evitar daños en la bomba de calor y asegurar la fiabilidad a largo plazo.

Esta lección se centra en los sistemas hidráulicos de circuito cerrado que se utilizan habitualmente con bombas de calor aire-agua y tierra-agua.

17.1 Resumen

- Los sistemas de bomba de calor para circuitos de agua pueden basarse en unidades tierra-agua o aire-agua, que pueden ser de configuración monobloque o split.
- En el lado hidrónico, se suelen utilizar dos disposiciones principales. En los sistemas de **conexión directa**, la bomba de calor se conecta directamente a la red de distribución del edificio, compartiendo el mismo caudal (solo hay una bomba de circulación)
- En sistemas más complejos, se utilizan **circuitos primario y secundario**, separados hidráulicamente por un depósito de inercia o un separador hidráulico, lo que permite que la bomba de calor y la red de distribución funcionen con caudales independientes.
- Normalmente se conecta en paralelo un subsistema dedicado al agua caliente sanitaria, que incluye un acumulador y un intercambiador de calor y como se analizó en la **Lección 16**

Co-funded by
the European Union

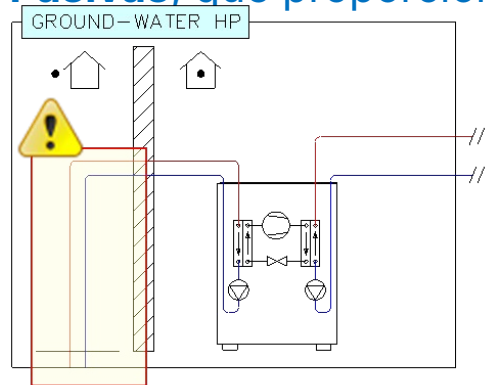


17.2 Protección anticongelante

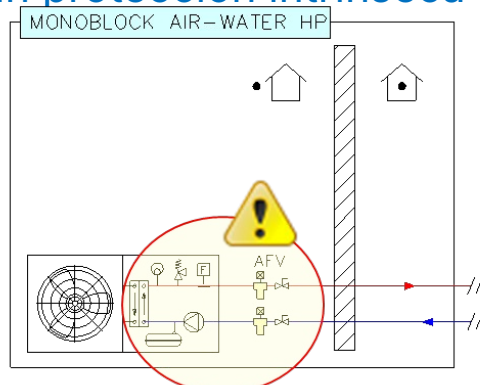
Existe riesgo de congelación siempre que componentes que contienen agua estén expuestos a temperaturas exteriores inferiores a 0 °C, como sucede con las bombas de calor aire-agua monobloque y con los circuitos de intercambiadores de calor geotérmicos. Mientras que los refrigerantes se congelan a temperaturas extremadamente bajas (por ejemplo, -136 °C para el R32 o -78 °C para el CO₂), el agua se congela a 0 °C y puede causar daños graves por rotura de tuberías o grietas en los intercambiadores de calor de placas.

Las estrategias de protección contra la congelación pueden ser:

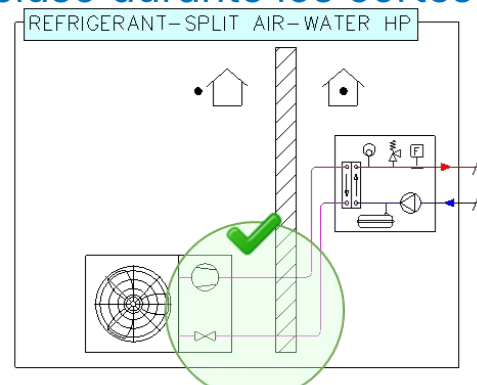
- **Activas**, que requieren energía eléctrica, o
- **Pasivas**, que proporcionan protección intrínseca incluso durante los cortes de s



Risk of freezing



Risk of freezing



No risk of freezing
(refrigerant lines)

REFRIGERANTE	PUNTO DE CONGELACIÓN
Agua	0 °C
R134a	-103,3 °C
R410A	-155 °C
R32	-136 °C
R290	-188 °C
R717	-78 °C
R744	-78,5 °C

17.2 Protección anticongelante

La protección activa contra la congelación incluye:

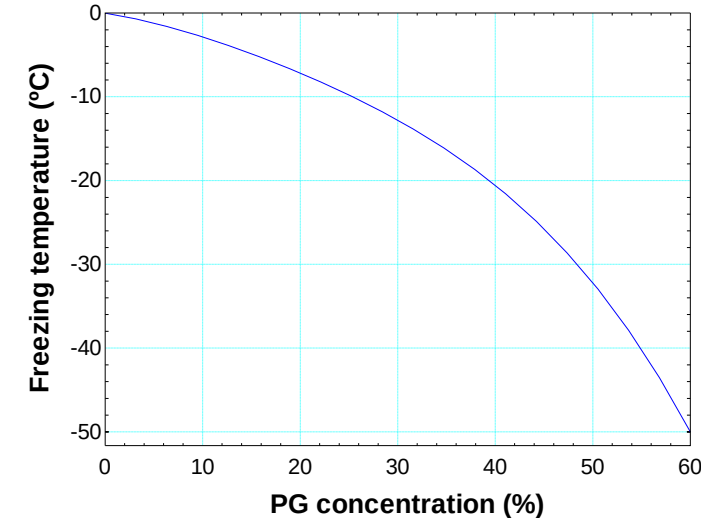
- Poner en marcha la bomba de circulación de agua de forma intermitente
- Hacer funcionar el compresor a baja velocidad para mantener el agua de las tuberías externas por encima de aproximadamente 5 °C (condensador exterior)
- Usar cintas calefactoras eléctricas a lo largo de las tuberías y alrededor del intercambiador de calor refrigerante-agua

Estos métodos solo son eficaces cuando hay suministro eléctrico.

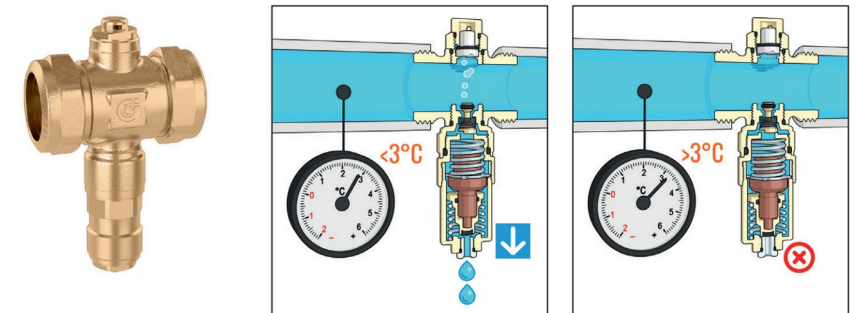
La protección pasiva utiliza:

- Mezclas de propilenglicol. Por ejemplo, una solución al 40 % de propilenglicol proporciona protección contra la congelación hasta unos -20 °C. El glicol se utiliza habitualmente en los circuitos geotérmicos y, de forma selectiva, en los circuitos exteriores de los sistemas aire-agua.
- Válvulas anticongelantes que protegen los circuitos exteriores drenando el agua cuando las temperaturas se acercan al punto de congelación. Estas válvulas suelen abrirse a unos 3 °C y volver a cerrarse por encima de los 4 °C. Se requieren válvulas automáticas de llenado de agua para restablecer la presión, y los separadores de aire eliminan el aire arrastrado.

Método pasivo 1: utilizar agua + propilenglicol (PG) en el circuito de agua externo



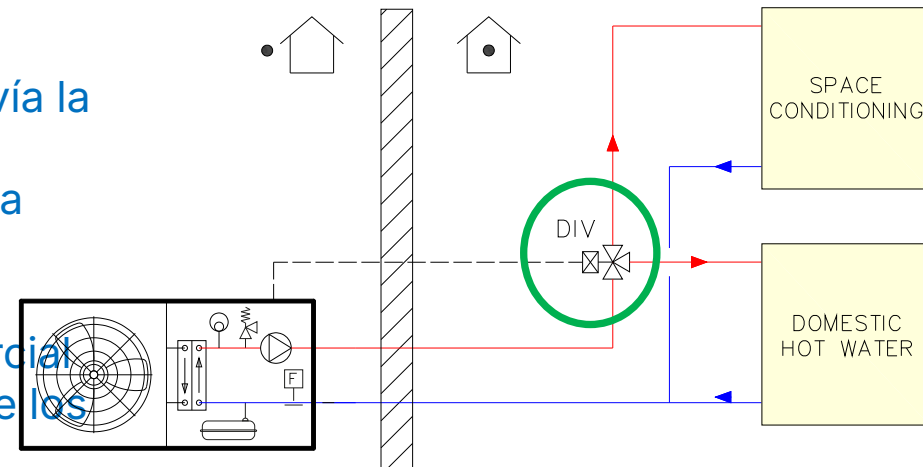
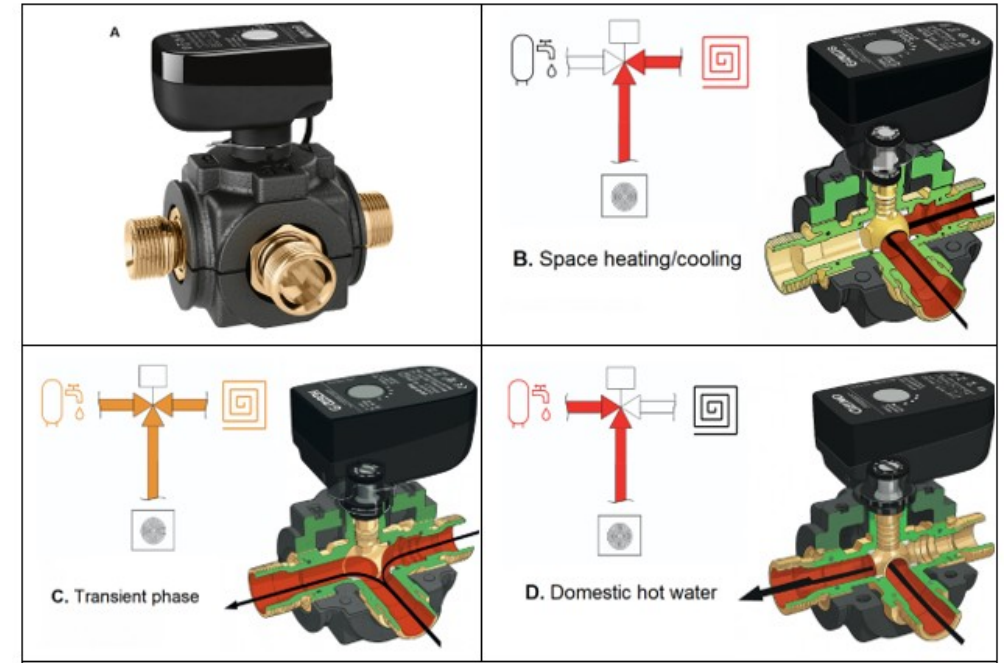
Método pasivo 2: válvulas anticongelantes



Más detalles: consulte las secciones 17.2.1 (activo) y 17.2.2 + 17.2.3 (pasivo), 17.2.4 (resumen)

17.3 Válvula de derivación (DIV)

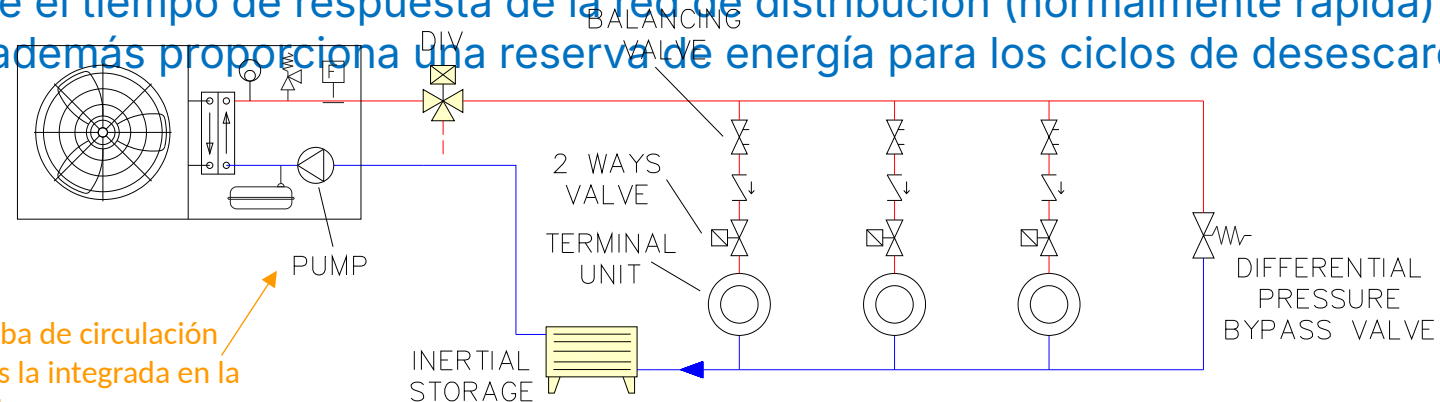
- Las válvulas de derivación son válvulas motorizadas de tres vías que dirigen la producción de la bomba de calor bien hacia la calefacción y refrigeración de los espacios, o bien hacia la producción de agua caliente sanitaria.
- El agua caliente sanitaria suele tener prioridad porque su demanda es inmediata y no puede retrasarse. Cuando la temperatura del depósito desciende por debajo de su punto de consigna, la válvula de derivación redirige toda la producción de la bomba de calor al depósito de ACS, el agua impulsada normalmente estará a una temperatura de 55 a 60 °C.
- Una vez que el depósito se ha recalentado, la válvula envía la producción a la climatización de los espacios, donde las temperaturas de impulsión suelen ser de 35-45 °C para la calefacción y de 7-12 °C para la refrigeración.
- Los sistemas modernos pueden aplicar una prioridad parcial para evitar una interrupción excesiva de la calefacción de los espacios.



17.4 Conexión directa

Concepto

- La forma más sencilla de integrar una bomba de calor en el sistema de calefacción o refrigeración de un edificio es conectarla directamente a las tuberías de distribución. La bomba de circulación integrada impulsa el agua a través de toda la red de distribución.
- Esta solución solo es adecuada cuando la bomba proporciona suficiente altura de bombeo y cuando el sistema puede mantener en todo momento el caudal mínimo requerido por la bomba de calor. Los valores mínimos de caudal típicos son especificados por los fabricantes y deben respetarse para evitar fallos o daños (véase la Sección 14.5.3)
- Cuando las válvulas de zona se cierran en condiciones de carga parcial, el caudal del sistema puede caer por debajo de este mínimo, lo que requiere medidas hidráulicas adicionales.
- En este circuito aparecen dos nuevos componentes: **(1)** una válvula de derivación de presión diferencial, que garantiza el caudal mínimo requerido a través de la bomba de calor, y **(2)** un acumulador de inercia, que compensa la diferencia entre el tiempo de respuesta de la red de distribución (normalmente rápida) y la bomba de calor (más lenta), y que además proporciona una reserva de energía para los ciclos de desescarche.



17.4 Conexión directa

Válvula de derivación de presión diferencial

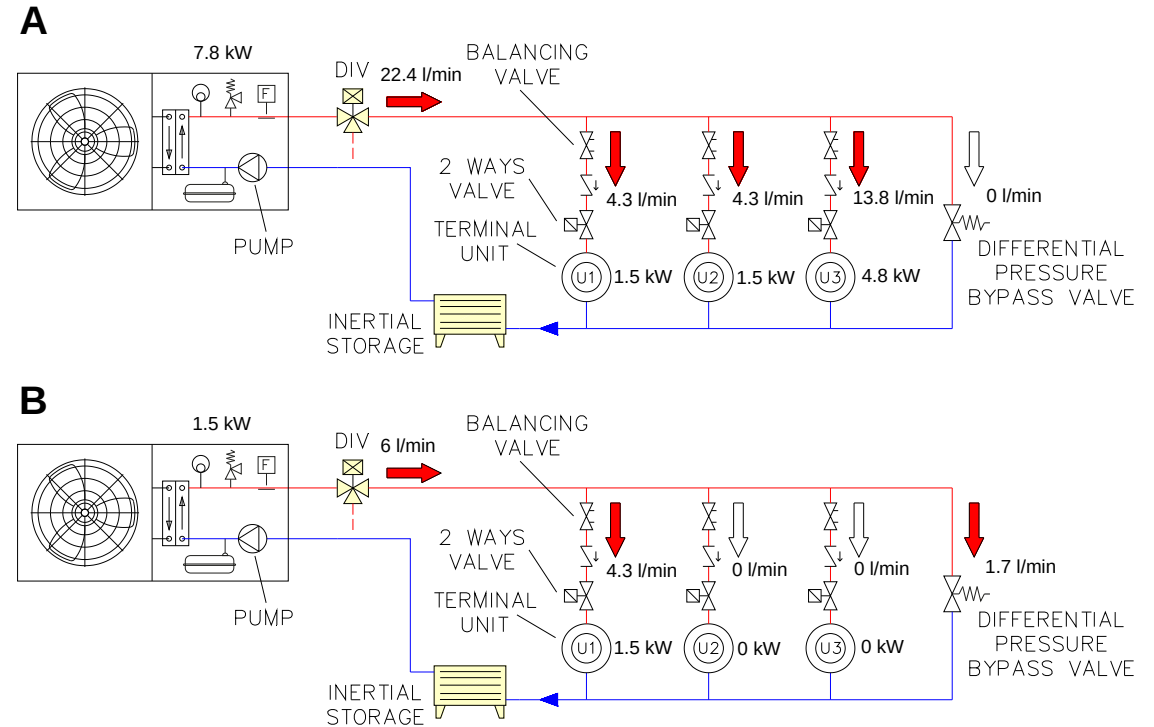
- Esta válvula garantiza el caudal mínimo abriendo un bypass cuando la diferencia de presión entre el suministro y el retorno supera un valor establecido, lo que indica que varias unidades terminales se han cerrado.
- Por ejemplo (figura), si una bomba de calor requiere al menos 6 l/min y solo queda abierta una zona con una demanda de 4,3 l/min, la válvula de derivación se abre para hacer circular el exceso de caudal (1,7 l/min).
- El ajuste de la válvula se configura de modo que permanezca cerrada durante el funcionamiento normal y se abra únicamente en condiciones de bajo caudal
- La válvula de derivación se instala normalmente en una T de tubería que conecta el suministro principal con el retorno principal, por lo general después del último colector o ramal del emisor de

Más detalles: consulte la sección 17.4.1 (necesidad de la derivación) y 17.4.2 (detalles de la válvula)

Co-funded by
the European Union



Función de la válvula de derivación



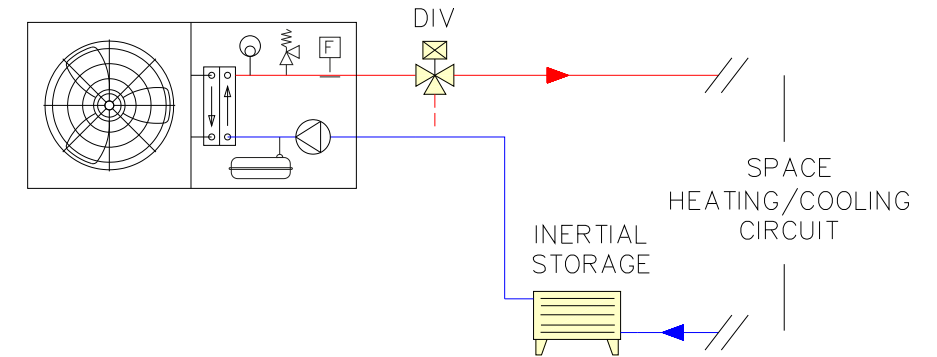
Modelo comercial (fuente: CALEFFI)



17.4 Conexión directa

Depósito de inercia

- Las bombas de calor también requieren un volumen mínimo de agua para garantizar un funcionamiento estable y poder extraer de ese volumen la energía necesaria para los ciclos de descongelación.
- Los fabricantes suelen especificar entre 5 y 7 litros de agua por kW de potencia de la bomba de calor como mínimo absoluto. En la práctica, los depósitos de inercia suelen tener un tamaño de entre 10 y 20 L/kW para mejorar la estabilidad de la temperatura y evitar ciclos cortos causados por movimientos rápidos de las válvulas de zona.
- Para garantizar que este mínimo esté siempre disponible, independientemente del número de zonas de calefacción que estén abiertas o cerradas, suele ser necesario instalar un depósito de inercia.

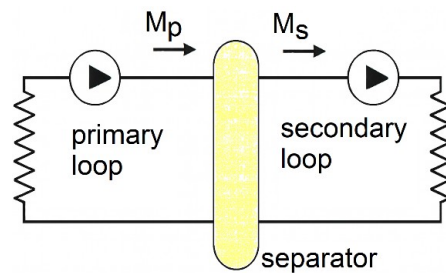


Fuente:
<https://futureenergia.es>

17.5 Configuración de los circuitos primario y secundario

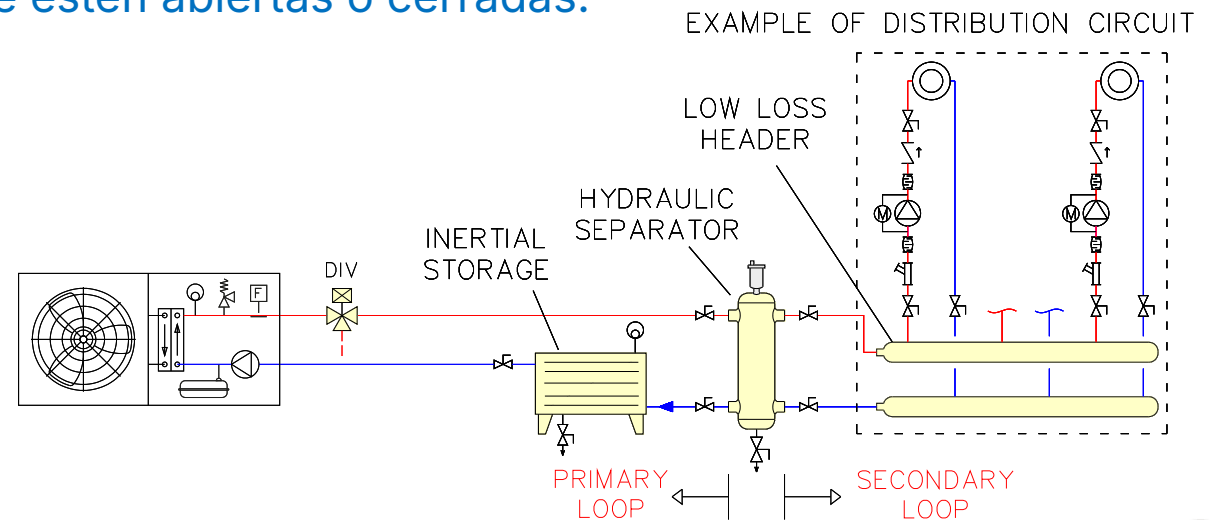
Concepto

- Las configuraciones primario-secundario se utilizan cuando la bomba de circulación de la bomba de calor no puede superar la resistencia hidráulica de la red de distribución.
- El **circuito primario** abastece a la bomba de calor con su propia bomba de circulación, mientras que el **circuito secundario** alimenta los emisores mediante bombas independientes.
- Un separador hidráulico conecta los dos circuitos, lo que permite la transferencia de calor sin obligar a ambos circuitos a funcionar al mismo caudal. Esta disposición garantiza un funcionamiento estable independientemente del número de zonas que estén abiertas o cerradas.



✓ Piense en los circuitos primario y secundario como dos carreteras conectadas por una rotonda. Cada carretera tiene su propia velocidad y volumen de tráfico, pero la rotonda permite que los vehículos pasen de una carretera a otra sin obligar a ambas a tener las mismas condiciones de tráfico.

Más detalles: consulte la sección 17.5



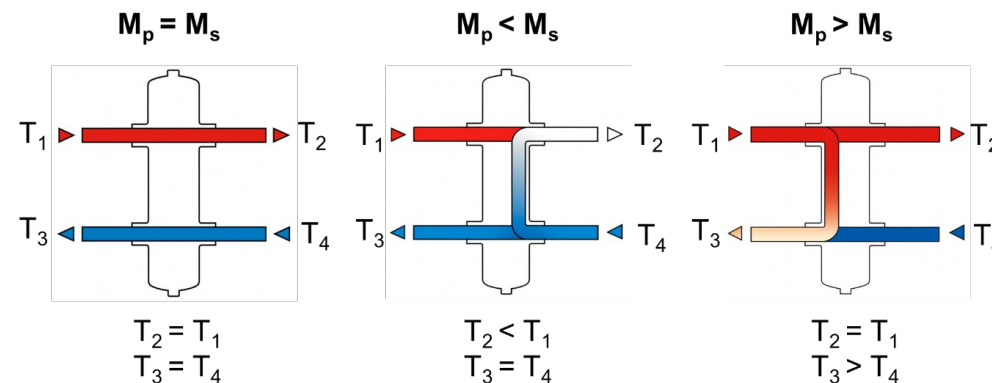
Co-funded by
the European Union



17.5 Configuración de los circuitos primario y secundario

Separador hidráulico

- El separador hidráulico es un recipiente con un gran diámetro interno que reduce la velocidad del agua por debajo de aproximadamente 0,2 m/s, creando una caída de presión insignificante entre los circuitos. Esto permite el funcionamiento independiente de las bombas y también facilita la separación del aire y la suciedad.
- El diámetro del separador se selecciona en función del caudal máximo, o según la regla práctica de que su diámetro debe ser aproximadamente tres veces el diámetro de la tubería conectada de mayor tamaño. La altura típica del separador es de cuatro a seis veces su diámetro.

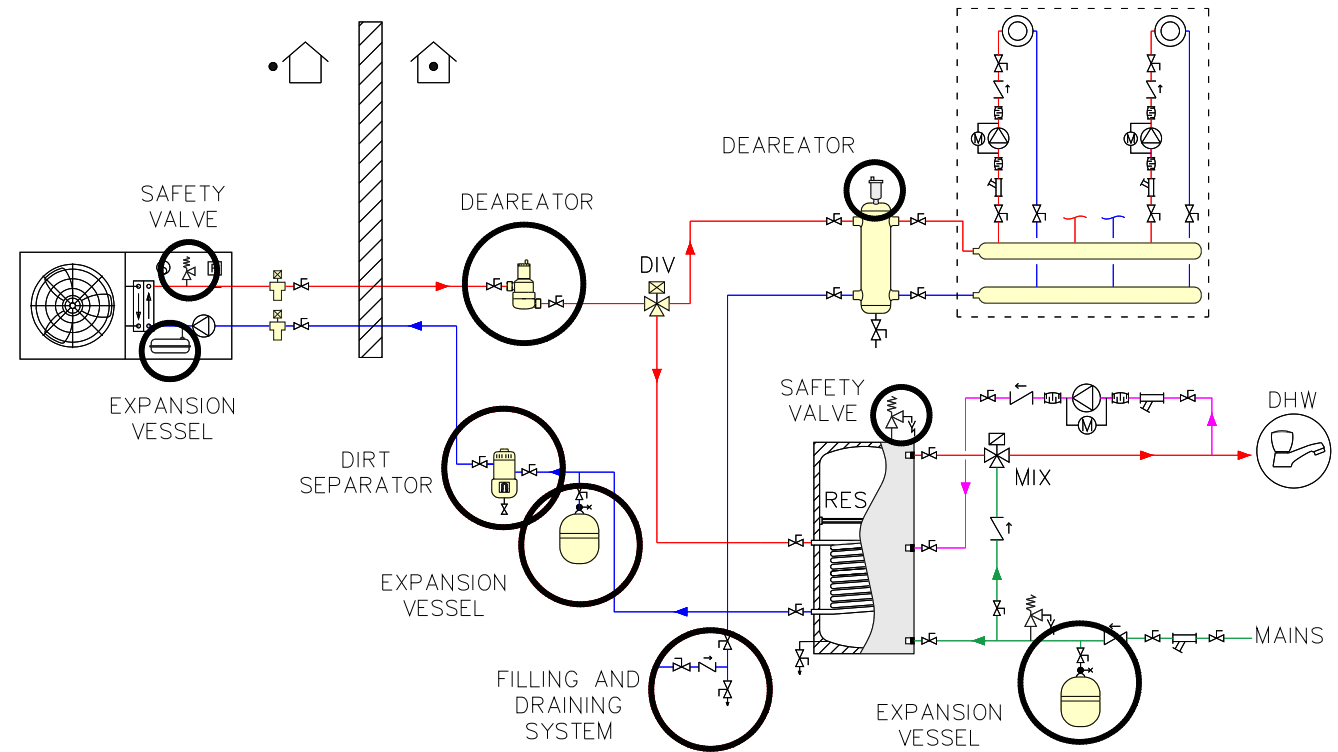


Más detalles: consulte las secciones 17.5.1, 17.5.2 y 17.5.3

17.6 Otros componentes

Los componentes auxiliares garantizan un funcionamiento seguro y fiable.

- **Las válvulas de seguridad** protegen contra la presión excesiva, abriéndose normalmente entre 3 y 10 bar
- **Los vasos de expansión** absorben la expansión térmica del agua; su volumen puede calcularse analíticamente o estimarse en aproximadamente el 5 % del volumen total del sistema en el caso de los sistemas de bomba de calor
- **Los purgadores de aire y los desaireadores** eliminan el aire atrapado y disuelto para evitar la corrosión y la cavitación de la bomba
- **Los separadores de impurezas y los filtros magnéticos** capturan los residuos y la magnetita, protegiendo los intercambiadores de calor y las válvulas y preservando la eficiencia del sistema.



Co-funded by
the European Union

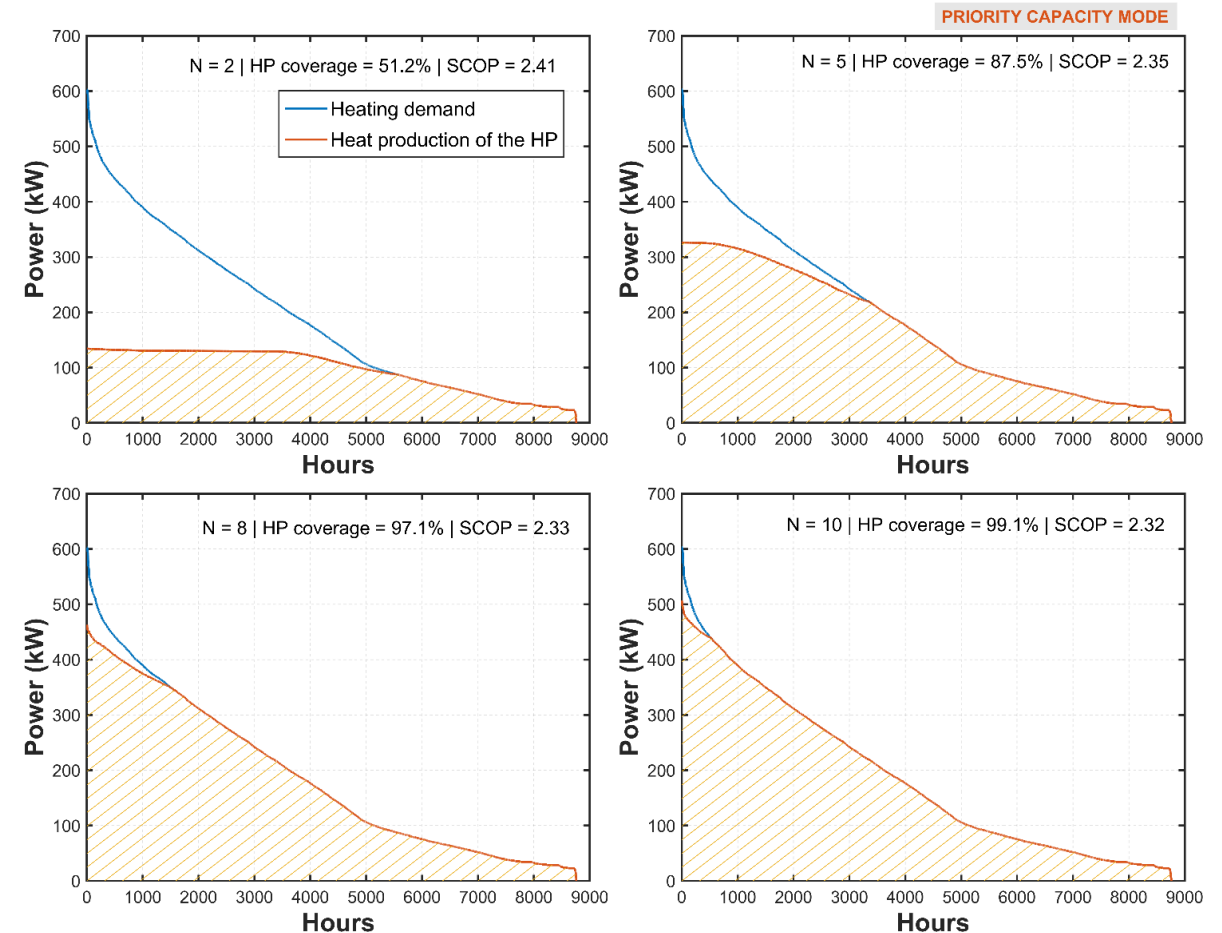


Más detalles: consulte la sección
17.6



17.7 Sistemas híbridos

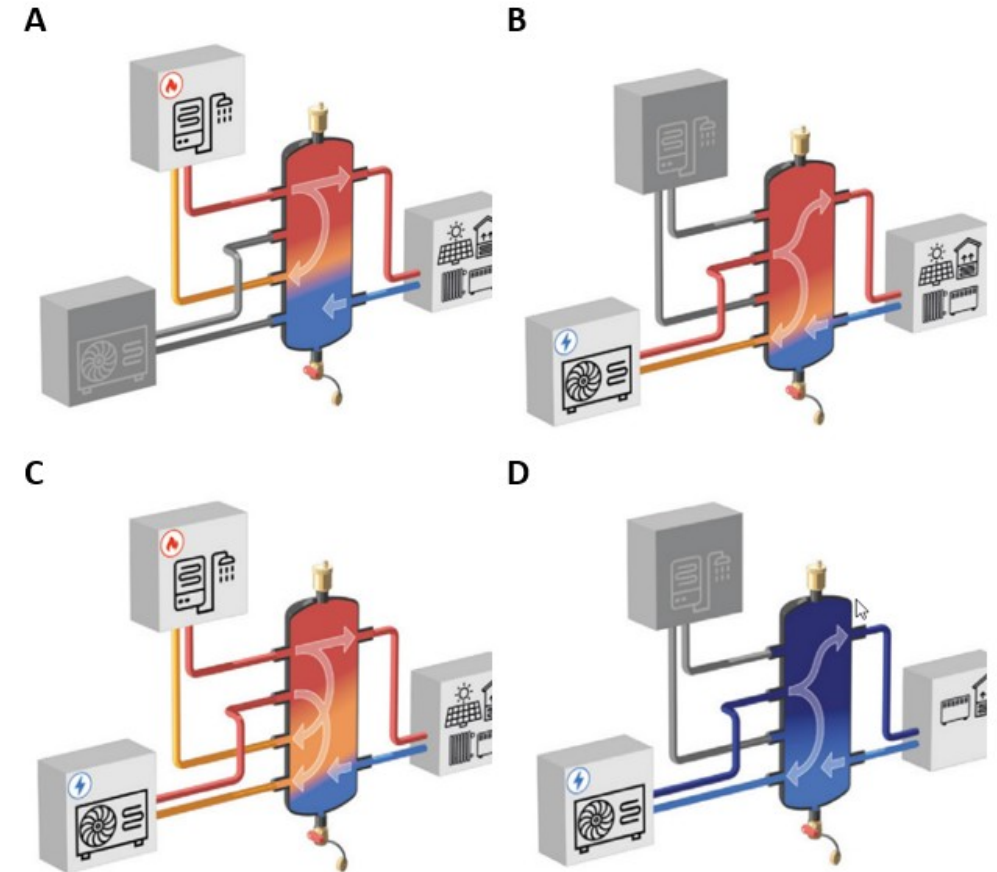
- Los sistemas híbridos combinan una bomba de calor con una caldera para equilibrar eficiencia y capacidad máxima
- La bomba de calor cubre **las cargas base**, mientras que la caldera satisface la demanda máxima o los requisitos de alta temperatura.
- Por ejemplo, la figura muestra la demanda de calefacción acumulada de un edificio ejemplo y las curvas de producción de la bomba de calor para diferentes números de unidades de bomba de calor ($N = 2, 5, 8$ y 10). Aumentar la capacidad de la bomba de calor de dos a diez unidades puede elevar la cobertura de la carga de aproximadamente el 51 % a más del 99 %, mientras que el SCOP se mantiene casi constante en torno a 2,3-2,4.
- Esto demuestra que la eficiencia disminuye más allá de un cierto nivel de cobertura y respalda la justificación de la hibridación.



Más detalles: véase la sección 17.7.1

17.7 Sistemas híbridos

- Un separador hidráulico inercial permite integrar fácilmente una bomba de calor y una caldera mediante el desacoplamiento hidráulico de sus circuitos, al tiempo que se mantienen las condiciones de funcionamiento correctas gracias a una disposición adecuada de las conexiones y a la estratificación del caudal.
- **El flujo de la caldera se conecta al puerto superior, el de la bomba de calor justo debajo;** el retorno de la caldera se conecta al tercer puerto desde arriba, y el retorno de la bomba de calor al puerto más bajo, con el circuito de refrigeración en el lado opuesto.
- El separador permite el funcionamiento independiente o en paralelo de la caldera y la bomba de calor, con un bypass interno parcial para preservar el equilibrio hidráulico; en modo de refrigeración, solo la bomba de calor abastece al sistema.
- Desempeña una doble función: separar los circuitos del generador primario del circuito de distribución secundario y proporcionar el volumen mínimo de agua necesario para el funcionamiento de la bomba de calor, utilizando una zona de baja velocidad para neutralizar las diferencias de presión y simplificar el diseño del sistema.



Modos de funcionamiento: (A) solo caldera, (B) solo bomba de calor; (C) ambas fuentes; (D) modo de refrigeración

LECCIÓN 18

Recopilación de esquemas de sistemas representativos



Co-funded by
the European Union



Objetivos de la lección 18

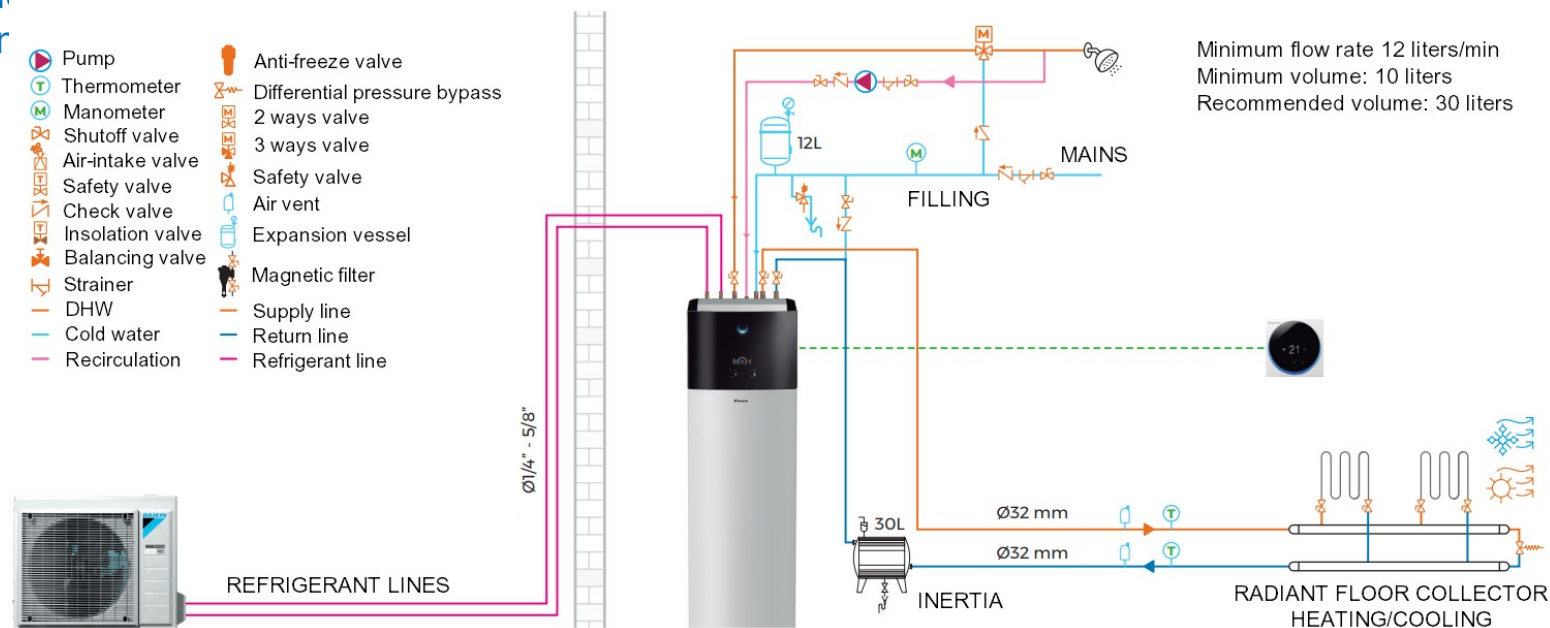
1. Comprender cómo se configuran los esquemas típicos de sistemas hidráulicos para instalaciones de bombas de calor residenciales y a pequeña escala utilizando componentes comunes, tales como bombas de calor, depósitos de almacenamiento, separadores, válvulas y circuitos de distribución.
2. Comparar diferentes diseños de sistemas (conexión directa, primario/secundario, multiemisor, multiunidad, geotérmicos e híbridos) e identificar las condiciones en las que cada esquema resulta adecuado.
3. Utilizar los esquemas presentados como modelos de referencia prácticos para adaptar, combinar y personalizar los diseños de sistemas de bomba de calor e híbridos de acuerdo con los requisitos del proyecto, el clima y las instalaciones existentes.

Contenido de la lección 18

1. Esta lección presenta doce esquemas representativos de sistemas de bomba de calor que aplican los conceptos introducidos en las lecciones 14 a 17
2. En esta presentación se han seleccionado tres esquemas representativos: un sistema totalmente eléctrico sencillo, un sistema reversible de emisores mixtos, y un sistema híbrido de bomba de calor y caldera. En conjunto, estos esquemas abarcan la mayoría de las situaciones de diseño residencial, al tiempo que mantienen la claridad conceptual.
3. Los esquemas restantes pueden consultarse en el capítulo escrito de la lección.

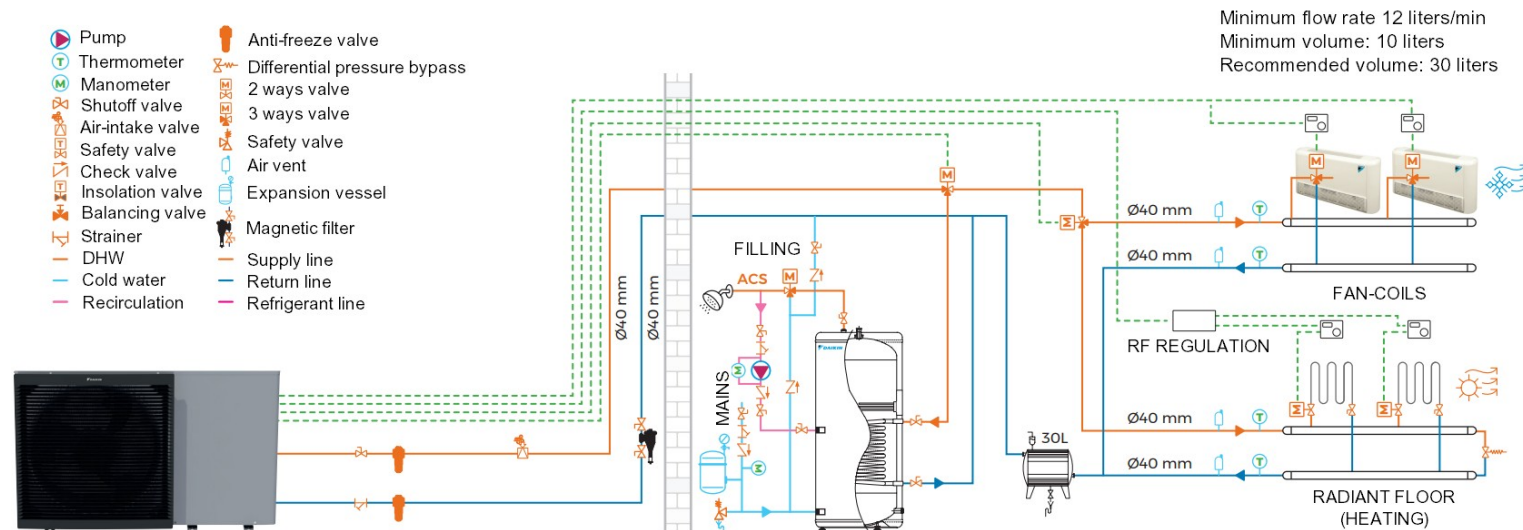
18.1 Esquema 1

- Este esquema se caracteriza por su simplicidad y por el acoplamiento directo entre la bomba de calor y un sistema de suelo radiante. Un depósito de inercia garantiza el volumen mínimo de agua que requiere la bomba de calor, mientras que una válvula de presión diferencial asegura el caudal mínimo. La unidad interior es un conjunto compacto que integra el depósito de agua caliente sanitaria y los principales componentes hidrónicos en un único módulo, lo que reduce las tuberías externas y simplifica la instalación.
- El sistema proporciona calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria. En este caso, el rendimiento de refrigeración se ve limitado por factores como el riesgo de condensación en la superficie del suelo y la reducción de la convección del aire. En general, se trata de uno de los esquemas más sencillos de la colección centrado en la emisión a baja temperatura con un equipo auxiliar mir



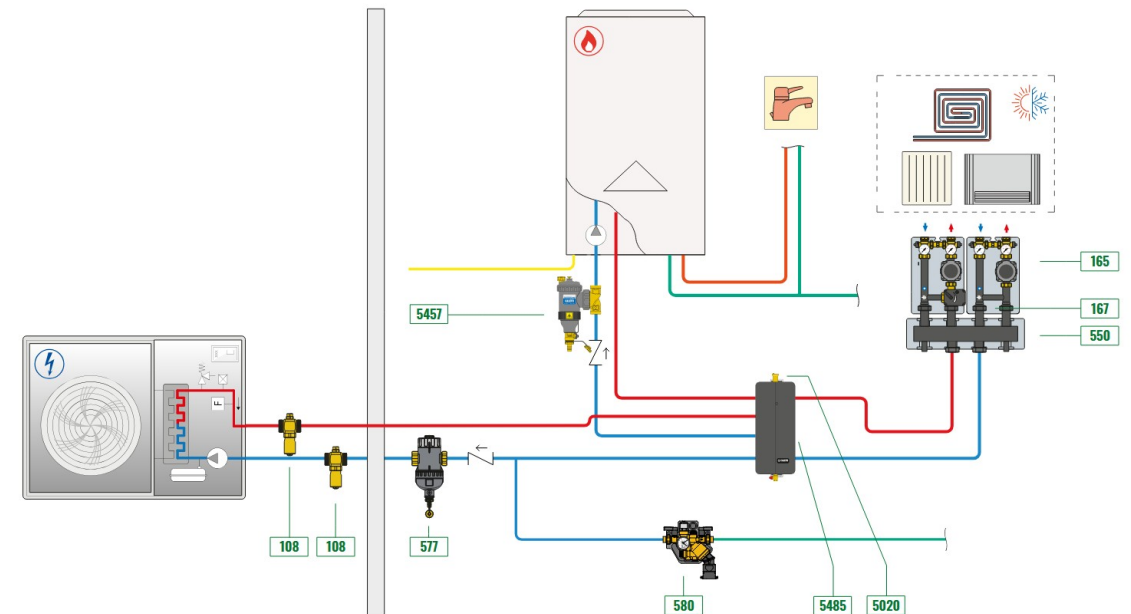
18.5 Esquema 5

- Este esquema ilustra una configuración más versátil diseñada para hacer frente a mayores cargas de refrigeración en verano. Una bomba de calor aire-agua monobloque suministra tanto agua caliente sanitaria como climatización, pero el edificio utiliza dos tipos diferentes de unidades terminales. Los circuitos de suelo radiante se utilizan exclusivamente para la calefacción, mientras que las unidades fan-coil se utilizan para la refrigeración. Esta separación evita las limitaciones intrínsecas de refrigeración de los suelos radiantes y permite mayores capacidades de refrigeración con la ventaja añadida de la deshumidificación del aire.
- Dos válvulas de derivación motorizadas gestionan el funcionamiento del sistema. Una válvula conmuta la salida de la bomba de calor entre la producción de agua caliente sanitaria y la climatización de los espacios. Una segunda válvula dirige el agua de calefacción o refrigeración bien al circuito de suelo radiante, bien al circuito de fancoils, dependiendo de la estación del año. En algunas variantes, los fancoils también pueden ayudar a la calefacción durante los arranques en frío, compensando la lenta respuesta térmica de los suelos radiantes.
- Este esquema es muy adecuado para climas con una demanda de refrigeración significativa, como las regiones de clima templado cálido y mediterráneo. Proporciona confort durante todo el año, mayor flexibilidad operativa y mejor rendimiento en verano que los sistemas exclusivamente radiantes, a costa de una complejidad hidráulica, control más complejo y mayor coste.



18.9 Esquema 9

- Este esquema es una configuración híbrida representativa que combina una bomba de calor monobloque y una caldera de gas conectadas en paralelo a un acumulador de inercia que también actúa como separador hidráulico. Ambos generadores pueden funcionar de forma alterna o simultánea, dependiendo de la intensidad de la carga y de la estrategia de control.
- La separación hidráulica garantiza que los circuladores de la bomba de calor y de la caldera funcionen independientemente del circuito de distribución, manteniendo unas condiciones de caudal estables independientemente de la demanda del edificio.
- La calefacción y la refrigeración de los espacios se suministran a través del circuito secundario, mientras que el agua caliente sanitaria se produce instantáneamente mediante la caldera. Esto evita la necesidad de un acumulador de ACS, garantiza altas temperaturas del agua caliente incluso durante los picos de demanda y elimina el riesgo de legionela asociado al agua almacenada.
- La bomba de calor cubre la calefacción base y todas las cargas de refrigeración, mientras que la caldera da respuesta a la demanda máxima de calefacción o funciona cuando las temperaturas exteriores son demasiado bajas para un funcionamiento eficiente de la bomba de calor.
- Este esquema es especialmente adecuado para proyectos de rehabilitación, en los que se conserva la caldera existente y se complementa con una bomba de calor. Ofrece una alta fiabilidad, un menor consumo de combustibles fósiles y una transición fluida hacia la electrificación, al tiempo que evita el sobredimensionamiento de la bomba de calor para satisfacer picos de carga ocasionales.



Fuente de la figura: documentación técnica de Caleffi



Co-funded by
the European Union



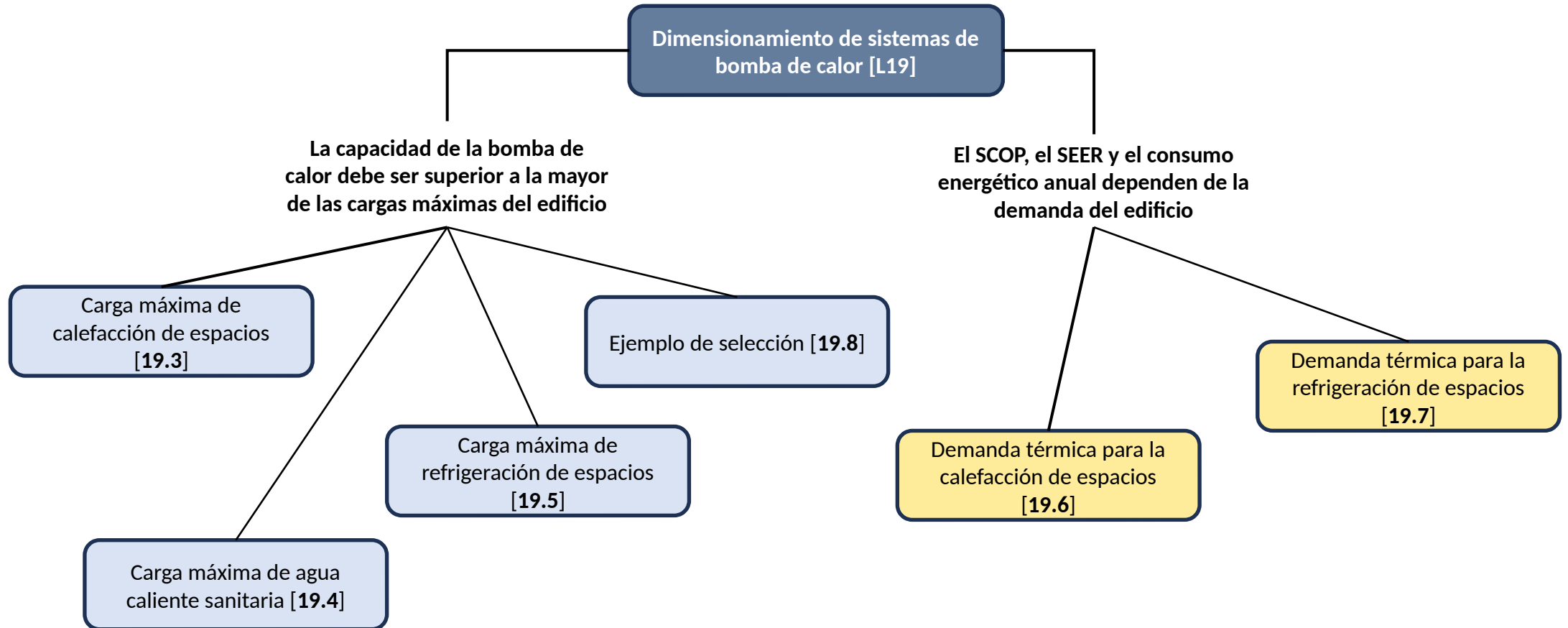
LECCIÓN 19

Dimensionamiento de sistemas de bomba de calor

Objetivos de la lección 19

1. Comprender los principios del dimensionamiento de bombas de calor, distinguiendo entre cargas térmicas máximas (kW) y demanda térmica anual (kWh) para calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria.
2. Aprender a estimar las cargas máximas de calefacción y refrigeración utilizando métodos simplificados e indicadores dependientes del clima, y reconocer sus supuestos y limitaciones.
3. Utilizar los datos de rendimiento del fabricante para seleccionar una capacidad de bomba de calor adecuada que cumpla con las condiciones de diseño, evitando al mismo tiempo un sobredimensionamiento o un subdimensionamiento.

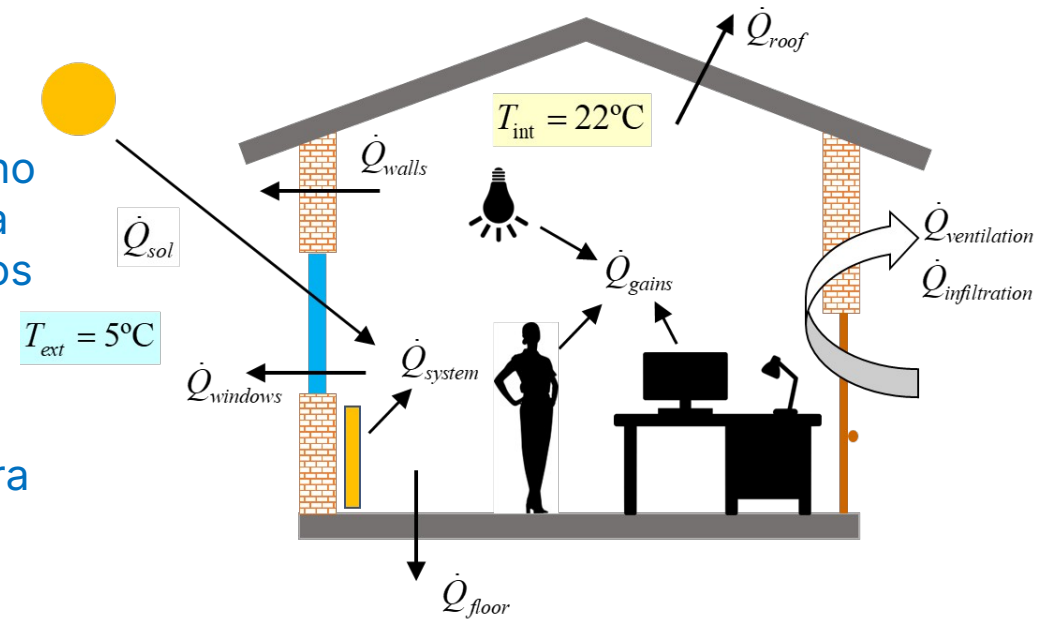
Contenido de la lección 19



19.1 Introducción

- Para seleccionar una bomba de calor se necesita conocer la capacidad máxima (también llamada punta o pico) necesaria para mantener el confort interior en condiciones de diseño (extremas) definidas.
- Los edificios intercambian calor continuamente con su entorno a través de la transmisión por cerramientos, la ventilación, la infiltración, la radiación solar y las ganancias internas. Algunos de estos flujos hacen aumentar la temperatura interior, mientras que otros la reducen, y su dirección puede cambiar en función de las condiciones exteriores. Los flujos de calor pueden clasificarse en sensibles, que afectan a la temperatura del aire, y latentes, que afectan a la humedad.
- El objetivo del dimensionamiento es **garantizar que la bomba de calor pueda compensar el efecto combinado de todas las pérdidas o ganancias de calor en las condiciones más exigentes, evitando al mismo tiempo un sobredimensionamiento excesivo que reduciría la eficiencia y aumentaría su coste.**

Más detalles: consulte la sección 19.1



19.2 Cargas máximas frente a demanda térmica

Es importante distinguir entre:

- **Carga térmica máxima:** potencia máxima instantánea de calefacción o refrigeración requerida, en kW
- **Demanda térmica:** energía acumulada necesaria a lo largo del tiempo, en kWh.

Las cargas máximas determinan el tamaño (capacidad) del equipo necesario para mantener el confort interior en condiciones extremas, mientras que la demanda térmica se refiere al consumo energético anual.

Es habitual que la potencia máxima de un sistema de calefacción solo se utilice durante una pequeña fracción del tiempo: la demanda máxima se produce únicamente durante unas pocas horas, las más frías del año. Un dimensionamiento adecuado garantiza que la bomba de calor pueda hacer frente a esos picos sin resultar excesivamente sobredimensionada para el funcionamiento normal.



Co-funded by
the European Union

*Más detalles: consulte la sección
19.2*



19.3 Carga máxima de calefacción

- La carga máxima de calefacción es la tasa máxima de pérdida de calor de un edificio en el día de diseño más frío. Depende del nivel de aislamiento, la estanqueidad, la tasa de ventilación y la temperatura exterior de diseño, que se define estadísticamente para cada clima.
- La carga máxima de calefacción se expresa habitualmente en kilowatios (kW) o en vatios por metro cuadrado de superficie útil (W/m^2).
- La siguiente tabla ofrece algunos valores orientativos; los cálculos formales deben seguir normas como la EN 12831, ya que las reglas simplificadas de W/m^2 solo proporcionan una estimación preliminar rápida. El mercado ofrece software para calcular la carga máxima de calefacción con precisión.

Tipo de construcción	Carga máxima de calefacción
Vivienda nueva (alto aislamiento, normativa posterior a 2000)	30-50 W/m^2
Vivienda estándar de los años 90	40-60 W/m^2
Vivienda antigua con algo de aislamiento	60-100 W/m^2
Vivienda antigua sin aislamiento	120 W/m^2

- Los valores de la tabla se basan en un clima centroeuropeo. Los edificios en climas más templados se situarán en el extremo inferior de los rangos, mientras que el extremo superior se aplica a climas más fríos o a estructuras mal aisladas. Por ejemplo, una casa antigua sin aislamiento podría necesitar aprox. 120 W/m^2 en un clima frío, pero la misma casa en un clima mediterráneo tendría una necesidad menor, quizás del orden de 70-80 W/m^2 . Por el contrario, una casa moderna bien aislada podría tener una demanda tan baja como 30 W/m^2 en un clima cálido, o más cercana a los 50 W/m^2 en un clima más frío. Los diseños extremadamente eficientes, como las casas pasivas, limitan las cargas térmicas a unos 10-15 W/m^2 .



Co-funded by
the European Union

Más detalles: consulte la sección
19.3



19.4 Carga máxima de agua caliente sanitaria

- Además de la calefacción de espacios, las bombas de calor residenciales suelen encargarse del agua caliente sanitaria.
- Como se describió en la Lección 16, el calentamiento de agua caliente sanitaria tiene sus propias características de carga máxima, como el uso simultáneo de varias duchas o grifos de agua caliente por la mañana. Sin embargo, las cargas de agua caliente sanitaria se gestionarán almacenando el agua caliente en un depósito, lo que reducirá los requisitos de potencia térmica máxima de la bomba de calor. En lugar de tener que satisfacer un caudal máximo instantáneo con la potencia bruta de la bomba de calor, esta puede calentar un volumen de agua por adelantado. Por lo tanto, el dimensionamiento del sistema de agua caliente sanitaria se basa más en el consumo energético diario (kWh) y la capacidad de almacenamiento que en los kW instantáneos.
- **En cuanto al dimensionamiento de la bomba de calor, el agua caliente sanitaria rara vez dicta la capacidad máxima**, ya que la bomba de calor puede funcionar durante más tiempo para recargar el depósito. **El objetivo es garantizar un almacenamiento suficiente (y, posiblemente, un sistema eléctrico de respaldo) para cubrir los periodos de uso máximo.** La bomba de calor, en esencia, distribuye su potencia a lo largo del tiempo: genera agua caliente a un ritmo menor de forma continua para cumplir un objetivo energético, en lugar de satisfacer todo el uso simultáneo de una sola vez.

Más detalles: consulte la sección 19.4



Co-funded by
the European Union



- Los métodos para seleccionar el par (P,V) se detallaron en la Lección 16, junto con los ratios de diseño típicos.



19.5 Carga máxima de refrigeración del espacio

- La carga máxima de refrigeración es la potencia máxima que debe retirarse de un espacio para mantener el confort durante el día de diseño más caluroso. Las cargas de refrigeración se ven muy influidas por la radiación solar, la orientación, el acristalamiento, el sombreado, las ganancias internas y la masa térmica.
- La siguiente tabla ofrece algunos valores orientativos;** a diferencia de la calefacción, las cargas de refrigeración dependen en gran medida del tiempo, y los cálculos en estado estacionario tienden a sobreestimar los picos. Las simulaciones dinámicas proporcionan resultados más precisos, aunque a menudo se utilizan rangos orientativos simplificados para el diseño preliminar.

Zona europea	Regiones representativas	Carga de refrigeración máxima típica (W/m ²)	Notas
Frío / Norte	Escandinavia, países bálticos, norte del Reino Unido	0–20 W/m ²	A menudo no es necesario refrigerar; solo en casos excepcionales (elevada ganancia solar)
Fresco-templado	Alemania, Países Bajos, Bélgica, norte de Francia	20–40 W/m ²	La refrigeración suele ser innecesaria; depende principalmente de las ganancias solares y de ocasionales olas de calor
Templado / Central	Centro de Francia, Suiza, Austria	30–50 W/m ²	Cargas moderadas en verano; el sombreado y la masa térmica influyen considerablemente en los picos
Cálido-templado	Norte de Italia, norte de España, sur de Francia	40–70 W/m ²	Normalmente se requiere refrigeración; el control solar cobra importancia
Mediterráneo	España, Grecia, sur de Italia, sur de Portugal	60–90 W/m ²	La refrigeración suele ser el factor determinante en el diseño; fuerte dependencia del sombreado y el acristalamiento
Mediterráneo cálido	Sur de España, Sicilia, Chipre	80–110 W/m ²	Elevadas ganancias solares; valores cercanos al límite superior sin sombreado o con un alto porcentaje de acristalamiento

19.6 Demanda térmica para la calefacción de locales

19.7 Demanda térmica para la refrigeración de espacios

Estas dos secciones son de **estudio opcional**, pero muy interesantes para tu formación:

- La sección 19.6 introduce el concepto de grados-día de calefacción y muestra cómo utilizar este índice climático para estimar la demanda de calefacción de un edificio de ejemplo
- La sección 19.7 presenta los grados-día de refrigeración, un concepto análogo para la demanda de refrigeración, y analiza sus limitaciones.

19.8 Selección de la potencia de la bomba de calor

- El dimensionamiento de la bomba de calor se basa en la carga máxima de calefacción (P_h) y, cuando proceda, en la carga máxima de refrigeración (P_c). La potencia seleccionada debe ser, como mínimo, igual a la mayor de las dos, de modo que:

$$CAP_{HP} \geq \max(P_h, P_c)$$

- La carga dominante depende del clima, predominando la calefacción en las regiones más frías y la refrigeración en las más cálidas.
- En el caso de las bombas de calor aerotérmicas, la capacidad nominal no es suficiente para la selección. La capacidad disponible varía con la temperatura del aire exterior y la temperatura del agua de impulsión, y puede reducirse significativamente en condiciones de invierno o verano de diseño.
- Por lo tanto, la selección final debe basarse en los datos de rendimiento del fabricante a la temperatura exterior de diseño y a la temperatura de suministro requerida (tanto para calefacción como para refrigeración), a fin de evitar un sobredimensionamiento y la pérdida de confort en condiciones extremas

Ejemplo: Seleccionar una bomba de calor aire/agua para una vivienda unifamiliar de 150 m² situada en Kaunas (Lituania). La carga máxima de calefacción se estima en 40 W/m² (vivienda nueva con consumo muy bajo)

Paso 1. La carga máxima de calefacción se estima en 40 W/m², por lo que la potencia de calefacción de diseño es

$$P_h = 150m^2 \times 40 \frac{W}{m^2} = 6000W = 6kW$$



Co-funded by
the European Union



Más detalles: consulte la sección
19.8.1



19.8 Selección de la potencia de la bomba de calor

Paso 2. Determinar las temperaturas de funcionamiento extremas a las que se verá sometida la bomba de calor.

Analizamos los dos lados de la máquina:

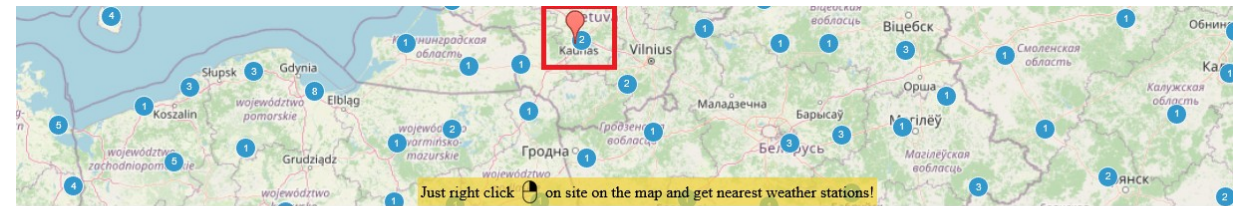
- Lado de carga (agua): La temperatura máxima de salida del agua se fija en 55 °C para la producción de agua caliente sanitaria (ACS). Para la calefacción de espacios, la temperatura de suministro de diseño es de 45 °C.

- Lado de la fuente (aire exterior): La condición de diseño de calefacción viene determinada por la temperatura de bulbo seco exterior más baja en el emplazamiento. Esta temperatura puede obtenerse a partir de las directrices de diseño nacionales o de conjuntos de datos reconocidos internacionalmente, como la base de datos de información climática de diseño de ASHRAE (<https://ashrae-meteo.info/v3.0/>)

Más detalles: véase la sección 19.8.1

Para Kaunas, la figura (Fuente: ASHRAE) muestra dos percentiles de baja temperatura comúnmente utilizados para el diseño de la calefacción:

- $T_{out,design}$ -17,9 °C (percentil del 99,6 %; más conservador)
- $T_{out,design}$ = -14,4 °C (percentil del 99 %)



2025 ASHRAE Handbook - Fundamentals (SI)

KAUNAS, LITHUANIA (WMO: 266290)

Lat: 54.8334N Lon: 23.8349E Elev: 77 StdP: 100.40 Time zone: 2.00 (EUE) Period: 1999-2023 Grade: A WBAN: 99999

Annual Heating, Humidification, and Ventilation Design Conditions															
Coldest Month	Heating DB		Humidification DP/MCDB and HR						Coldest month WS/MCDB				MCWS/PCWD to 99.6% DB		WSF
			99.6%			99%			0.4%		1%				
	99.6%	99%	DP	HR	MCDB	DP	HR	MCDB	WS	MCDB	WS	MCDB	MCWS	PCWD	
1	-17.9	-14.4	-20.1	0.6	-17.1	-17.1	0.8	-13.7	10.9	0.4	10.0	-1.0	1.9	10	0.560

Annual Cooling, Dehumidification, and Enthalpy Design Conditions																	
Hottest Month	Hottest Month DB Range	Cooling DB/MCWB						Evaporation WB/MCDB						MCWS/PCWD to 0.4% DB			
		0.4%		1%		2%		0.4%		1%		2%					
		DB	MCWB	DB	MCWB	DB	MCWB	WB	MCDB	WB	MCDB	WB	MCDB	MCWS	PCWD		
7	9.4	28.9	20.2	27.1	19.2	25.4	18.2	21.3	26.8	20.2	25.2	19.2	23.7	3.5	150		
Dehumidification DP/MCDB and HR																	
0.4%			1%			2%			0.4%			1%			2%		Extreme Max WB
DP	HR	MCDB	DP	HR	MCDB	DP	HR	MCDB	Enth	MCDB	Enth	MCDB	Enth	MCDB			
19.5	14.4	23.9	18.5	13.4	22.6	17.5	12.6	21.7	62.3	26.8	58.4	25.3	55.2	23.7	25.6		

19.8 Selección de la potencia de la bomba de calor

Paso 3. Definir los requisitos de la bomba de calor

Dado que una unidad de fuente aire pierde capacidad a medida que desciende la temperatura exterior, y dado que el agua caliente sanitaria requiere una temperatura del agua más elevada, la selección debe realizarse consultando los datos del fabricante en A-15/W₄₅ (calefacción de espacios) y A-15/W₅₅ (agua caliente sanitaria), o en los puntos publicados más cercanos.

En la práctica, un criterio sensato podría ser:

Asegurar que $CAP_{HP}(T_{\text{aire}} \approx -15^{\circ}\text{C}, T_{\text{agua}} = 45^{\circ}\text{C}) \geq 6 \text{ kW}$

Añadir un margen moderado para la incertidumbre y los efectos del desescarche (por ejemplo, 10-20 %), con el objetivo de disponer de unos 7 kW en el punto de diseño.

Paso 4. Seleccionar una bomba de calor comercial

Un ejemplo de bomba de calor adecuada para esta aplicación es la bomba de calor aire-agua PUD-SWM80VAA de Mitsubishi Electric. En la condición de diseño A-15/W₄₅, la potencia calorífica disponible es de 6,6 kW, suficiente para cubrir por completo la carga de calefacción de diseño sin calefacción auxiliar en condiciones invernales estándar. La unidad también es capaz de producir agua a 55 °C para agua caliente sanitaria cuando se conecta a un kit hidráulico y a un acumulador.

PUD-SWM80VAA(-BS)		PUD-SWM80YAA(-BS)													
Water outlet temperature [°C]		25		35		40		45		50		55		60	
Ambient temperature [°C]		Capacity	COP	Capacity	COP	Capacity	COP	Capacity	COP	Capacity	COP	Capacity	COP	Capacity	COP
Max	-25	-	-	5.0	1.70	4.9	1.55	4.7	1.44	-	-	-	-	-	-
	-20	-	-	6.7	2.20	6.6	1.95	6.4	1.70	6.2	1.45	-	-	-	-
	-15	-	-	7.3	2.50	7.0	2.25	6.6	2.00	6.7	1.75	6.8	1.55	-	-
	-10	8.5	3.50	7.6	2.99	7.5	2.65	7.3	2.35	7.3	2.00	7.2	1.91	-	-
	-7	9.4	3.60	8.8	3.00	8.6	2.75	8.4	2.45	8.3	2.10	8.0	1.95	7.2	1.55
	2	9.9	3.90	9.3	3.30	9.1	3.00	8.8	2.65	8.8	2.30	8.2	1.80	8.0	1.70
	7	9.6	5.40	8.9	4.60	8.6	4.05	8.2	3.45	7.9	3.10	7.5	2.55	6.8	2.30
	12	10.4	6.35	9.9	5.45	9.7	4.80	9.5	4.10	9.1	3.60	8.6	3.10	7.7	2.70
	15	10.7	6.95	10.4	5.85	10.2	5.20	10.0	4.50	9.5	3.85	9.0	3.45	8.0	2.95
	20	10.9	7.90	10.8	6.70	10.6	5.95	10.4	5.15	10.2	4.45	9.7	3.70	9.1	3.45
Nominal	-25	-	-	5.0	1.70	4.9	1.55	4.7	1.44	-	-	-	-	-	-
	-20	-	-	6.7	2.20	6.6	1.95	6.4	1.70	6.2	1.45	-	-	-	-
	-15	-	-	7.3	2.50	7.0	2.25	6.6	2.00	6.7	1.75	6.8	1.55	-	-
	-10	8.0	3.55	7.6	2.99	7.5	2.65	7.3	2.35	7.3	2.00	7.2	1.91	-	-
	-7	8.0	3.70	8.0	3.10	8.0	2.80	8.0	2.45	8.0	2.10	8.0	1.95	7.2	1.55
	2	8.0	4.35	8.0	3.55	8.0	3.15	8.0	2.75	8.0	2.40	8.0	1.82	8.0	1.70
	7	6.0	5.65	6.0	4.76	6.0	4.20	6.0	3.65	6.0	3.20	6.0	2.65	6.0	2.40
	12	6.0	6.45	6.0	5.35	6.0	4.80	6.0	4.25	6.0	3.65	6.0	3.10	6.0	2.75
	15	6.0	7.05	6.0	5.95	6.0	5.25	6.0	4.55	6.0	3.95	6.0	3.45	6.0	2.95
	20	6.0	8.05	6.0	6.90	6.0	6.05	6.0	5.15	6.0	4.55	6.0	3.75	6.0	3.40

Más detalles: consulte la sección 19.8.1

LECCIÓN 20

Integración de sistemas y estrategias de control



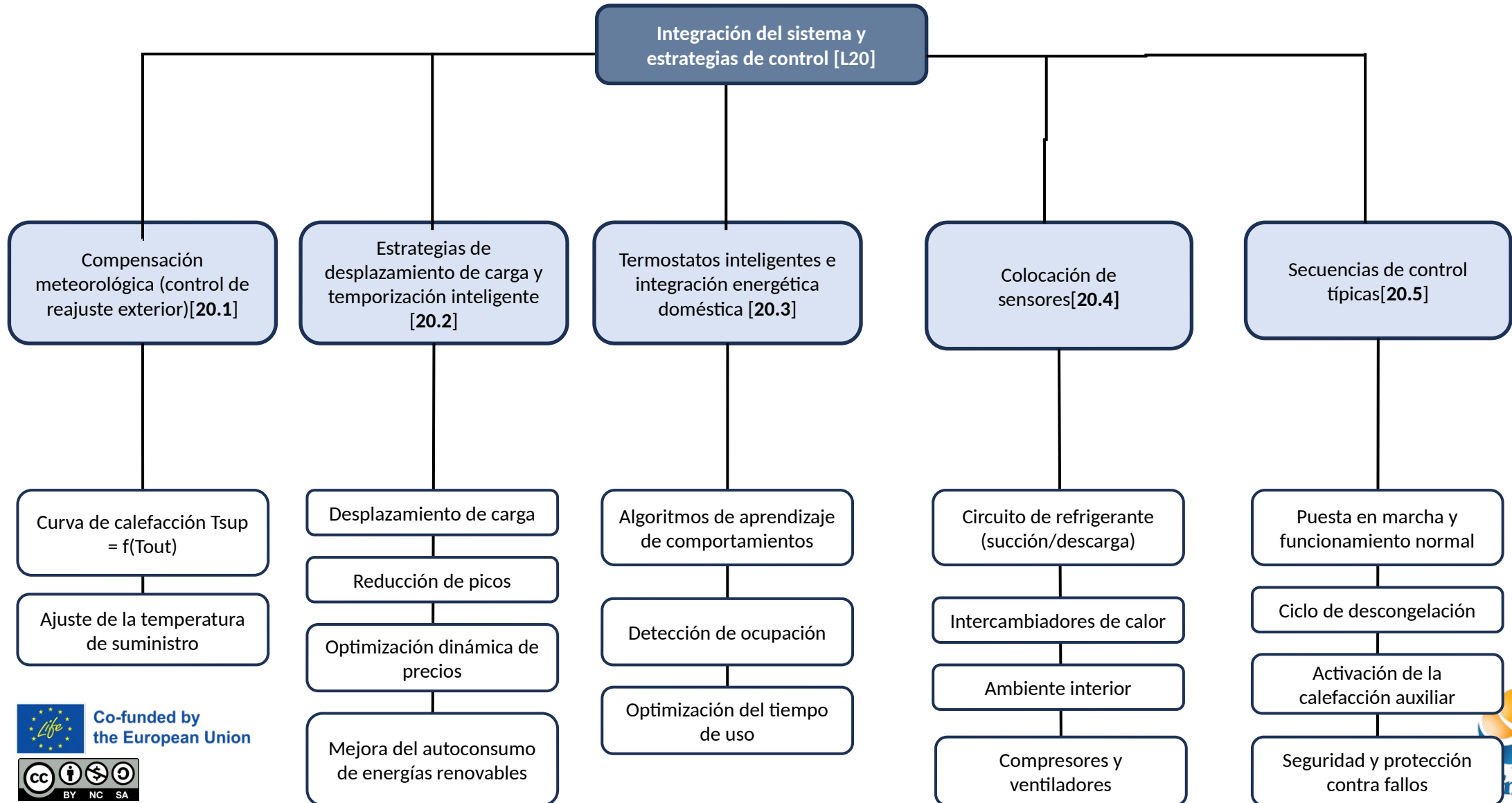
Co-funded by
the European Union



Objetivos de la lección 20

1. Comprender la función del control de supervisión en las instalaciones de bombas de calor
2. Explicar cómo la compensación climática modifica la temperatura de impulsión en función de las condiciones exteriores
3. Analizar las estrategias de desplazamiento de carga, reducción de picos y control basado en el precio
4. Describir el papel de los termostatos inteligentes en la optimización del sistema
5. Identificar la importancia de la ubicación de los sensores en la supervisión del rendimiento
6. Reconocer las secuencias de control operativo típicas de las bombas de calor

Contenido de la lección 20



20.1 Compensación climática (Control de reajuste para exteriores)

Principio básico

La temperatura de impulsión no es constante.

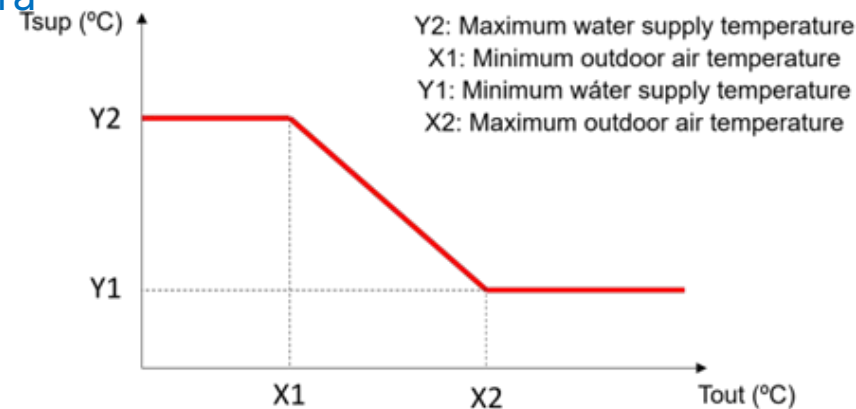
$$T_{sup} = f(T_{out})$$

Mecanismo de control

- Sensor exterior instalado en la fachada o en la unidad exterior
- La curva de calefacción define la temperatura de impulsión requerida
- Punto de consigna aplicado a:
 - Depósito de inercia
 - Circuito de calefacción directo

Repercusiones técnicas

- Menor temperatura de condensación cuando las condiciones exteriores lo permiten
- Reducción del aumento de temperatura
- Mejora del COP estacional
- Confort interior estable con menor número de ciclos



Co-funded by
the European Union



Implicaciones de diseño → los emisores deben funcionar de manera eficiente a temperaturas de suministro variables.



20.2 Estrategias de desplazamiento de la carga y de sincronización inteligente

Las bombas de calor pueden proporcionar flexibilidad energética.

El calor se convierte en un vector de almacenamiento controlable.

1. **Desplazamiento de la carga**

- Funcionamiento durante los periodos de tarifa baja
- Precargar el almacenamiento de energía térmica (TES)
- Reducir el funcionamiento durante las horas de máxima demanda

2. **Reducción de picos**

- Supervisar la importación/exportación de la red
- Limitar el intercambio máximo de potencia

3. **Optimización basada en los costes**

- Funcionamiento vinculado a la tarificación dinámica de la electricidad

4. **Integración de energías renovables**

- Supervisar la producción fotovoltaica
- Monitorización de la carga residual de la red
- Aumento del autoconsumo de energías renovables

20.3 Termostatos inteligentes e integración energética doméstica

Características funcionales

- Conectividad a Internet
- Algoritmos de aprendizaje de comportamiento
- Detección de presencia
- Optimización del tiempo de uso

Integración del sistema

- Comunicación con el controlador de la bomba de calor
- Integración con plataformas de domótica
- Respuesta a las tarifas en tiempo real

Los termostatos inteligentes introducen el control adaptativo.

El control evoluciona de reactivo a predictivo.

Ventaja operative

- Ajuste anticipado de la temperatura
- Reducción del funcionamiento innecesario
- Mejor equilibrio entre confort y consumo energético

20.4 Colocación de los sensores

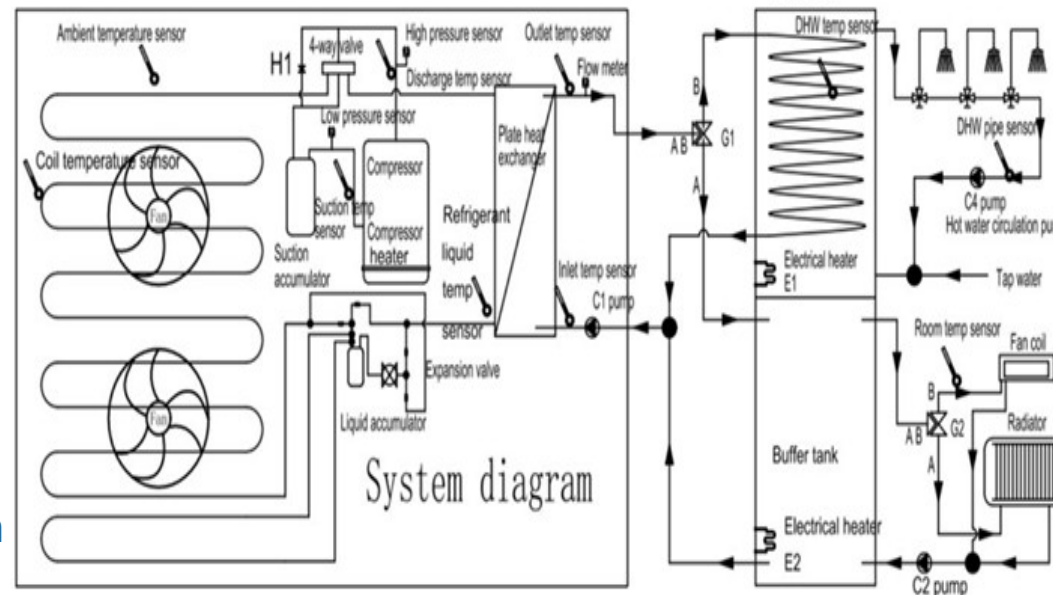
La calidad del control depende de la calidad de la medición

1. Circuito de refrigerante

- Tubo de aspiración → control de sobrecalentamiento
- Tubo de descarga → protección del compresor

2. Intercambiadores de calor

- Temperatura del serpentín exterior → control de descongelación
- Temperatura de cada salida de agua
- Optimización del rendimiento



3. Ambiente interior

- Temperatura del aire de retorno
- Humedad (cuando sea aplicable)

4. Componentes mecánicos

- Sensores de vibración
- Sensores de corriente
- Optimizarla eficiencia
- Mantenimiento predictivo
- Detección temprana de fallos



Co-funded by
the European Union



20.5 Secuencias de control y funcionamiento habituales

1. **Secuencia de arranque**

- Verificación de la demanda del termostato
- Activación del compresor y la bomba
- Modulación de la válvula de expansión

2. **Ciclo de descongelación (sistemas con fuente de aire)**

- Activado por las condiciones de temperatura y presión de la batería
- Activación de la válvula de inversión
- Interrupción temporal de la calefacción

3. **Calefacción auxiliar**

- Se activa por debajo de la temperatura de equilibrio
- Resistencia eléctrica o soporte híbrido

4. **Protección de seguridad**

- Corte por alta/baja presión
- Protección contra sobrecorriente

- Eficiencia
- Protección del equipo
- Confort térmico



Co-funded by
the European Union



5. **El control debe garantizar:**



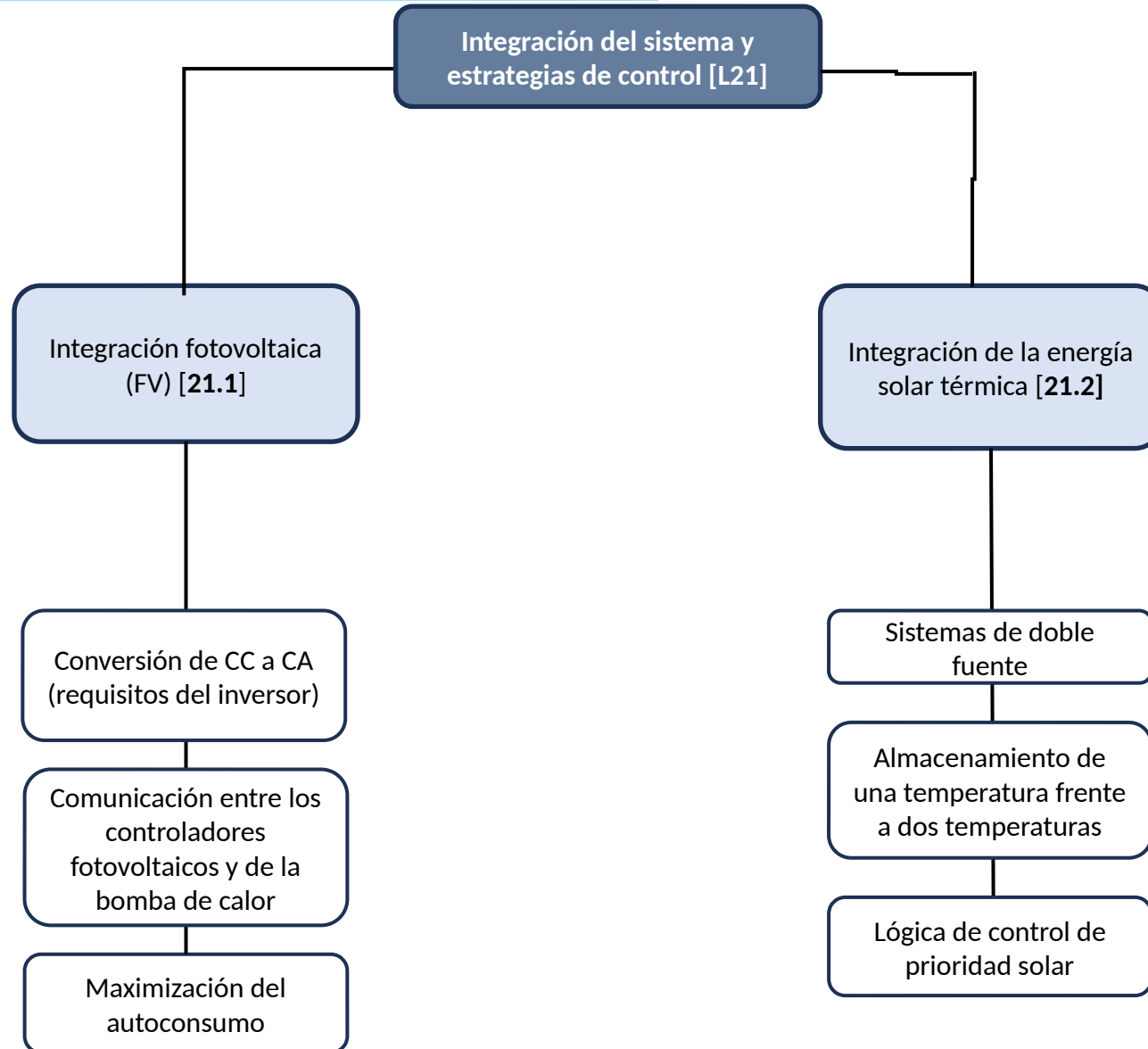
LECCIÓN 21

Integración con otras tecnologías de energía renovable

Objetivos de la lección 21

1. Comprender los principios de la hibridación fotovoltaica-bomba de calor
2. Analizar la interacción estacional entre la producción fotovoltaica y la demanda térmica
3. Evaluar el papel del almacenamiento eléctrico y térmico
4. Describir la integración de la energía solar térmica con las bombas de calor
5. Identificar las consideraciones clave de control y dimensionamiento para los sistemas híbridos

Contenido de la lección 21



21.1 Integración fotovoltaica

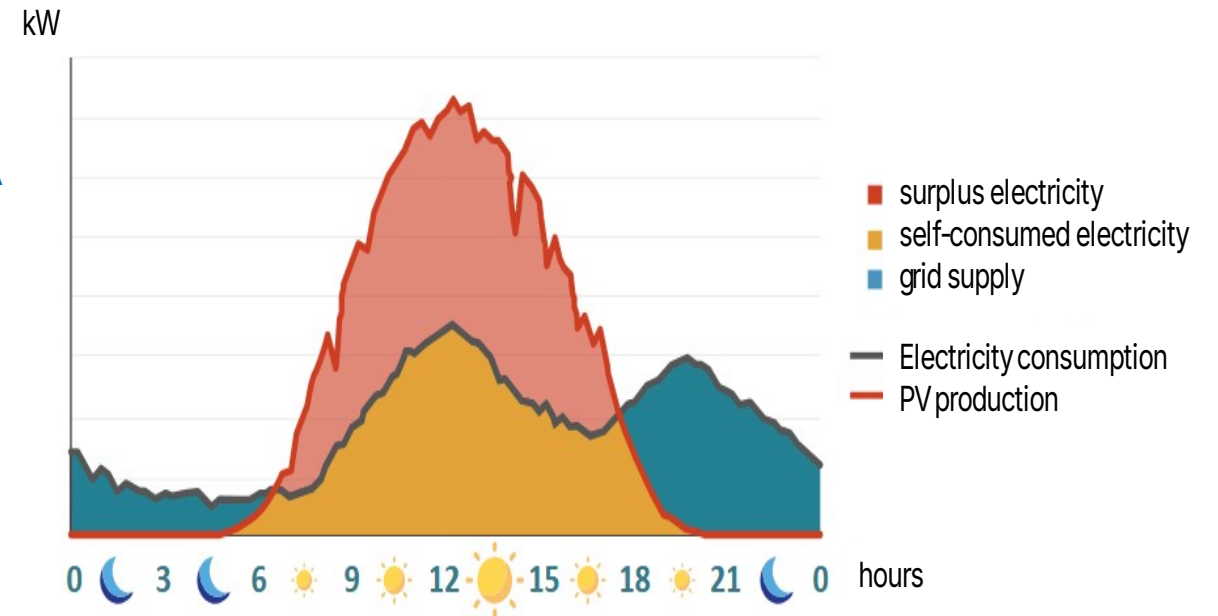
1. Interfaz eléctrica

- Las bombas de calor funcionan con electricidad de CA
- Los paneles fotovoltaicos generan electricidad de corriente continua
- Se necesita un inversor para la conversión de CC a CA
- Los sistemas fotovoltaicos domésticos ya incluyen inversor y regulador

2. Comunicación y control

- Interfaces de red inteligente
- Señal física (contacto de tensión libre)
- Protocolos de comunicación de bus

La hibridación no es solo eléctrica, sino también algorítmica.



Co-funded by
the European Union



Objetivo:

- Absorber la electricidad generada localmente
- Modificar los puntos de consigna de funcionamiento
- Reducir la exportación de electricidad a la red



21.1 Integración fotovoltaica

1. Desfase diario

- La producción fotovoltaica alcanza su máximo al mediodía
- La demanda residencial alcanza su máximo por la mañana y por la tarde

2. Comportamiento estacional

- Verano: la demanda de refrigeración se alinea con la producción fotovoltaica
- Invierno: la demanda de calefacción no se alinea con el pico fotovoltaico

3. Papel del almacenamiento

- Sin almacenamiento:
 - El excedente de electricidad se inyecta a la red
 - Autoconsumo limitado
- Con almacenamiento:
 - Baterías → almacenamiento eléctrico
 - Almacenamiento térmico → depósitos de agua caliente sanitaria / depósitos de inercia
 - Inercia térmica del edificio → flexibilidad en la demanda



El almacenamiento térmico suele ser la opción de flexibilidad más rentable

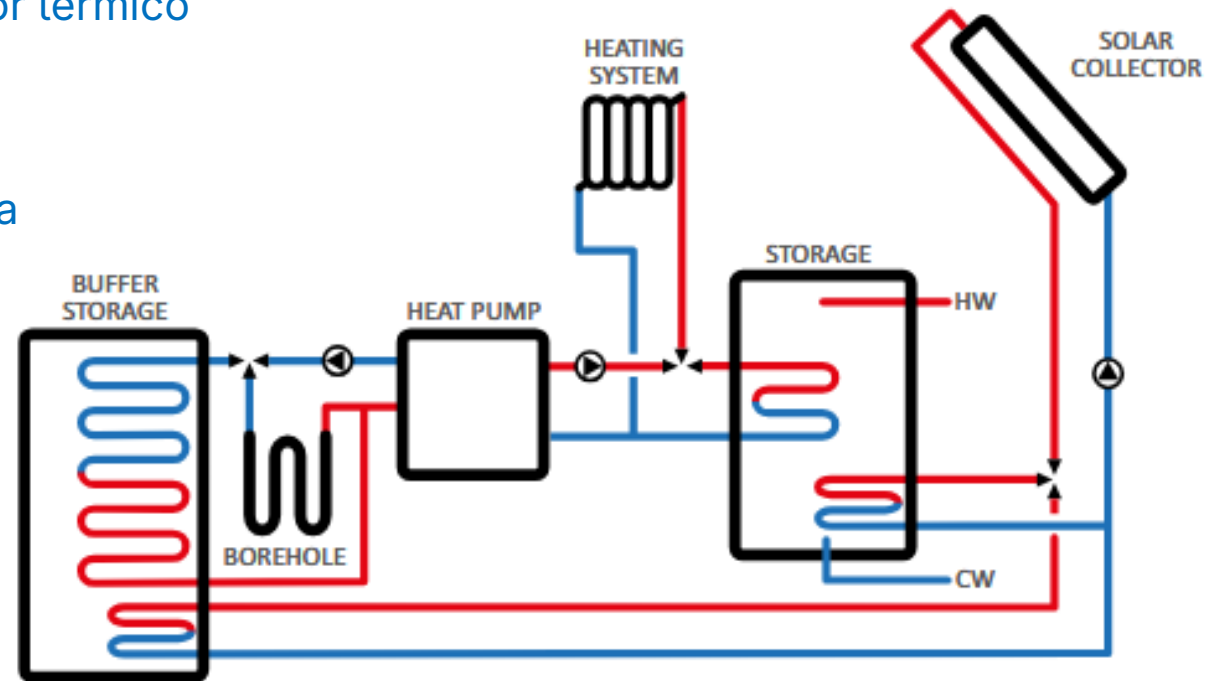
21.2 Integración de la energía solar térmica

1. Arquitectura del sistema

- Los colectores solares alimentan el acumulador térmico
- La bomba de calor proporciona calor auxiliar
- Almacenamiento típico: 100-300 L por vivienda

2. Configuraciones de almacenamiento

- Depósito de temperatura única
- Almacenamiento de dos niveles:
 - Alta temperatura (agua caliente sanitaria)
 - Baja temperatura (calefacción de espacios)



La energía solar reduce el tiempo de funcionamiento del compresor

21.2 Integración de la energía solar térmica

1. Jerarquía de control

- 1. Comparar la temperatura del colector y la temperatura del acumulador
- 2. Si $\Delta T \geq 7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ → se transfiere el calor solar
- 3. Si el depósito < punto de consigna → se activa la bomba de calor

2. Priorización de la demanda

- El agua caliente sanitaria suele tener prioridad
- Calefacción activada cuando la energía solar es insuficiente

3. Recomendaciones de diseño

- Evitar el sobredimensionamiento de la instalación fotovoltaica
- Adaptar la capacidad de la bomba de calor a la demanda térmica
- Equilibrar el coste de instalación con la tasa de autoconsumo

Los sistemas híbridos requieren un control coordinado, no subsistemas independientes.

LECCIÓN 22

Sistemas geotérmicos



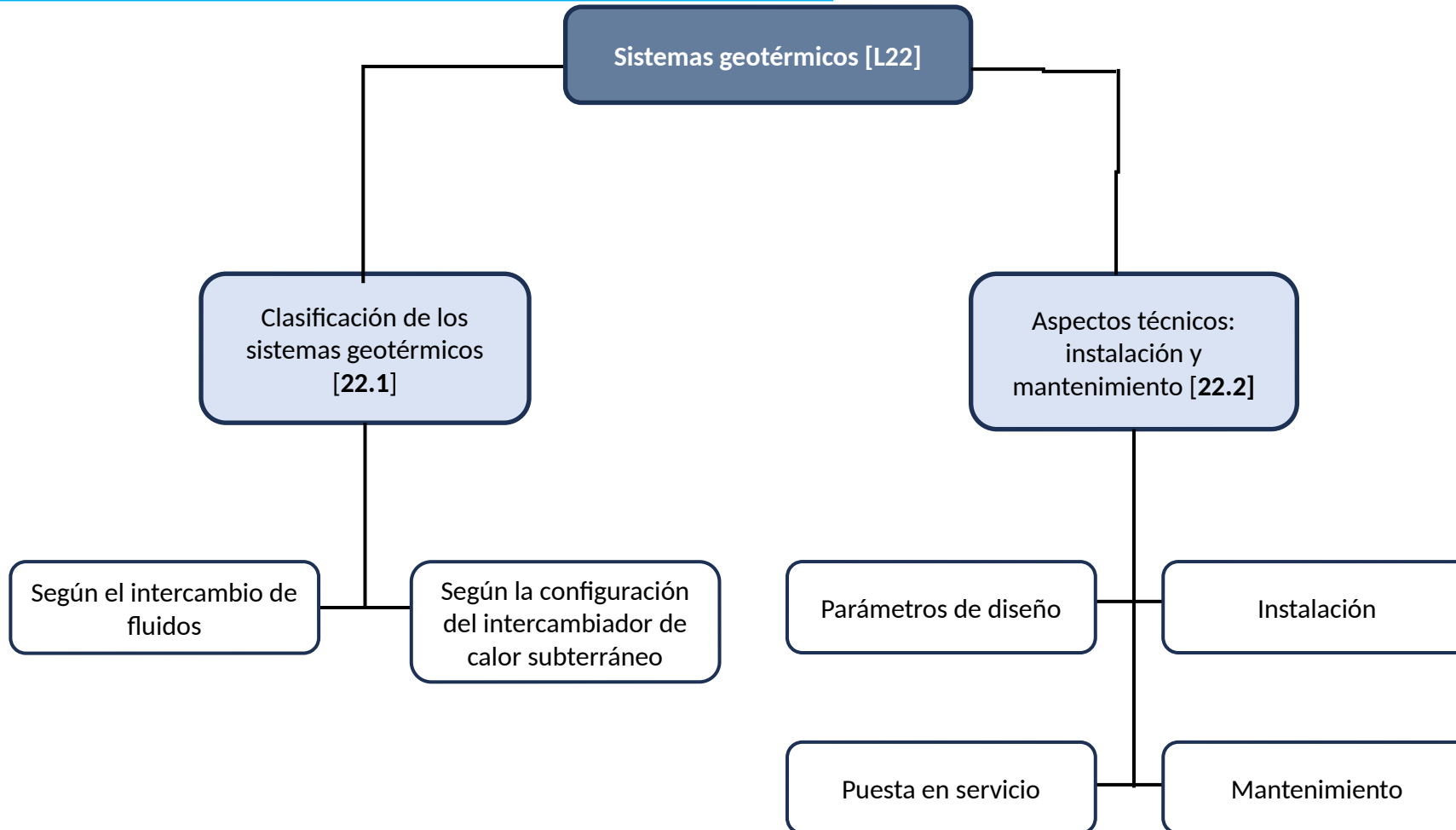
Co-funded by
the European Union



Objetivos de la lección 22

1. Comprender el principio de funcionamiento de las bombas de calor geotérmicas
2. Explicar por qué la estabilidad de la temperatura del suelo mejora la eficiencia
3. Clasificar los sistemas geotérmicos (de circuito cerrado y de circuito abierto)
4. Distinguir entre intercambiadores de calor geotérmicos verticales y horizontales
5. Identificar los requisitos de instalación y mantenimiento

Contenido de la lección 22



22.1 Clasificación de los sistemas geotérmicos

1. Principio de funcionamiento

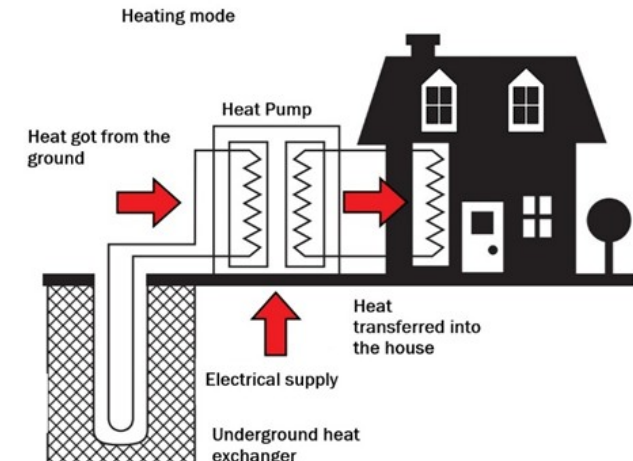
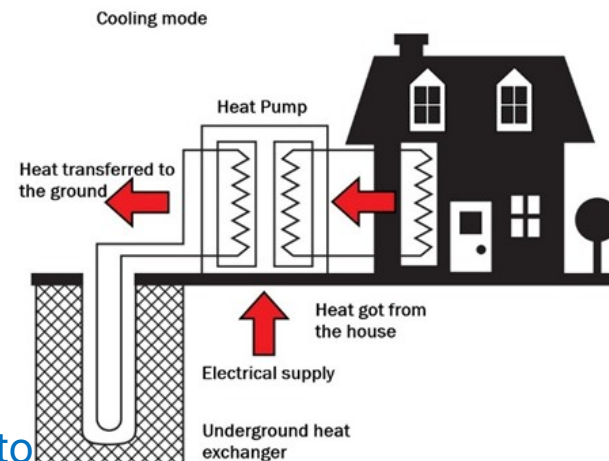
- La temperatura del suelo se mantiene estable ($\approx 3\text{--}22\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- Invierno → el suelo actúa como fuente de calor
- Verano → el suelo actúa como sumidero de calor
- Menor diferencia de temperatura en comparación con los sistemas de aire

2. Sistemas de circuito cerrado

- Sin intercambio de fluido con el entorno
- Tuberías de polietileno de alta densidad
- Mezclas anticongelantes (propilenglicol)
- Sistemas sellados, de bajo mantenimiento

3. Sistemas de circuito abierto

- Extracción de agua subterránea
- Reinyección o descarga de agua
- Sensibles a la calidad del agua (minerales, acidez)



Co-funded by
the European Union



22.1 Clasificación de los sistemas geotérmicos

1. Perforaciones verticales

- Ocupación compacta
- Tubo en U de plástico insertado en el pozo perforado
- La lechada térmicamente mejorada mejora la transferencia de calor

2. Perforaciones en espiral

- Mayor superficie de intercambio
- Instalado verticalmente

3. Sistemas horizontales

- Zanjas a poca profundidad
- Mayor necesidad de terreno
- Influenciado por las variaciones de la temperatura superficial

4. Configuraciones en espiral

- Tubos en espiral aplanados
- Instalados en zanjas o fosas
- Optimizado para superficies limitadas

22.2 Aspectos técnicos relativos a la instalación y el mantenimiento de los sistemas geotérmicos

1. Sistemas verticales

- Diámetro del pozo: 110–165 mm
- Inserción inmediata de la sonda tras la perforación
- Relleno con lechada (arena, bentonita, cemento)
- El contacto térmico con el suelo circundante es fundamental



2. Sistemas horizontales

- Preparación y nivelación de la zanja
- Capa de arena para proteger las tuberías
- Relleno de grano fino
- Evitar superficies pavimentadas sobre el intercambiador



22.2 Aspectos técnicos relativos a la instalación y el mantenimiento de los sistemas geotérmicos

1. Pasos para la puesta en marcha

- Lavado con agua a presión
- Purgado de aire
- Prueba de presión ($\sim 3\times$ la presión de servicio)
- Pruebas por secciones en instalaciones de gran tamaño

2. Parámetros de diseño

- Carga de calefacción/refrigeración del edificio
- Conductividad térmica del suelo
- Dimensionamiento del campo de perforaciones

3. Características de mantenimiento

- Circuito subterráneo → sin mantenimiento
- Unidades agua-agua → menor mantenimiento que las de aire
- La vida útil del circuito subterráneo puede superar los 50 años





Co-funded by
the European Union



Co-funded by
the European Union