



MÓDULO 7

Rehabilitación con bombas de calor

Desarrollado por: Sociedad Rumana de Geotermia (SRG)



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 7

- El módulo 7 se centra en la transformación práctica de edificios existentes, pasando de sistemas de calefacción convencionales basados en combustibles fósiles a sistemas de bombas de calor de alta eficiencia, garantizando la viabilidad técnica, la optimización del rendimiento y la fiabilidad a largo plazo.

Resultados del aprendizaje

- ✓ Explicar por qué los sistemas de baja temperatura son cruciales para el funcionamiento eficiente de las bombas de calor
- ✓ Analizar los sistemas hidrónicos existentes e identificar las necesidades de rehabilitación
- ✓ Adaptar los trazados de tuberías, la dinámica de flujo y los emisores para que se ajusten a los requisitos de las bombas de calor
- ✓ Garantizar la compatibilidad eléctrica e implementar un funcionamiento inteligente de la red
- ✓ Aplicar protocolos de puesta en marcha específicos para entornos de rehabilitación
- ✓ Evaluar proyectos de rehabilitación reales para determinar su viabilidad técnica y económica

Contenido del módulo 7

Lección 46	Casos prácticos: reacondicionamiento de bombas de calor	Lección 52	Confort del usuario final y factores de comportamiento
Lección 47	Planificación de la modernización	Lección 53	Mantenimiento y seguimiento a largo plazo
Lección 48	Reducción de la temperatura del agua en sistemas de calefacción hidrónica		
Lección 49	Modificaciones del circuito hidrónico		
Lección 50	Integración eléctrica de las bombas de calor		
Lección 51	Puesta en servicio y validación del rendimiento		

LECCIÓN 46

Casos prácticos: reformas con bombas de calor

Objetivos de la lección 4

- Identificar los principales retos técnicos y organizativos que plantea la rehabilitación de sistemas de calefacción existentes con bombas de calor.
- Explorar ejemplos reales de rehabilitación en edificios residenciales y no residenciales.
- Relacionar los resultados técnicos y económicos con estrategias prácticas de rehabilitación.
- Identificar los retos técnicos, económicos y relacionados con el confort.
- Comprender cómo las lecciones aprendidas se traducen en estrategias prácticas



Contenido de la lección 46

Casos prácticos: rehabilitación con bombas de calor

Rehabilitación de viviendas residenciales - Rehabilitación de viviendas unifamiliares

Rehabilitación de viviendas residenciales: rehabilitación de una vivienda unifamiliar

Documenta
ción digital
y modelado
3D

Rehabilitación
de la
envolvente

Sistema de
bomba de
calor
geotérmica

Sistema de
distribución
por techo
radiante

Integración
de energías
renovables

Ventilación
y confort
interior

Rehabilitaci
ón de la
envolvente
y control
solar

Sistema de
bomba de
calor
geotérmica
e híbrida

Sistema de
techo
radiante y
ventilación

Gestión y
monitorizac
ión de
edificios



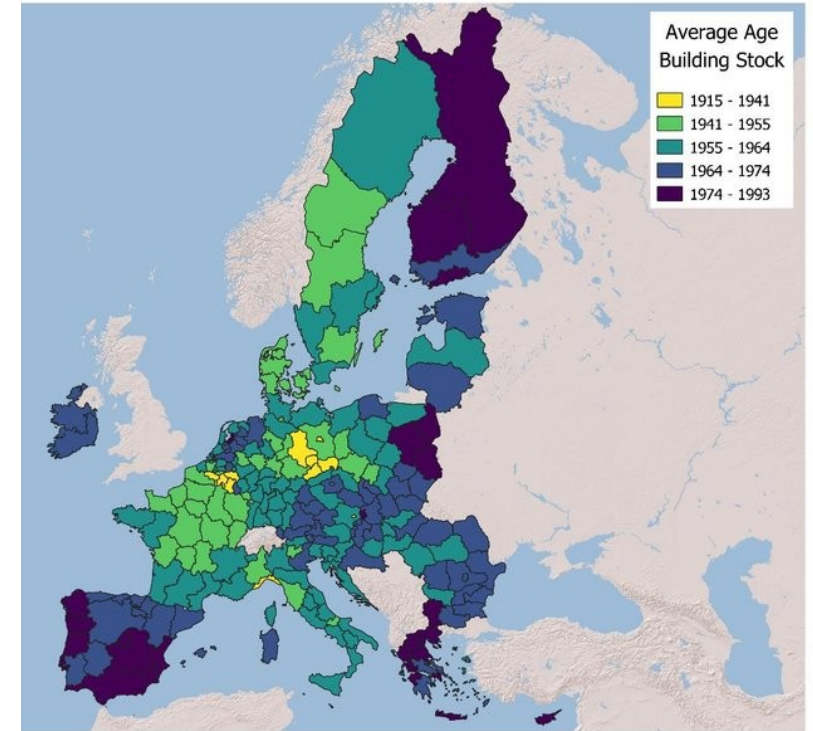
Co-funded by
the European Union



Por qué es importante la rehabilitación energética

- El 75 % de los edificios de la UE son ineficientes desde el punto de vista energético
- La mayoría depende de la calefacción con combustibles fósiles
- Estos edificios seguirán estando ocupados en 2050
- La rehabilitación es esencial para la neutralidad climática en 2050

 La rehabilitación es la **vía principal** hacia la neutralidad climática, no la nueva construcción.

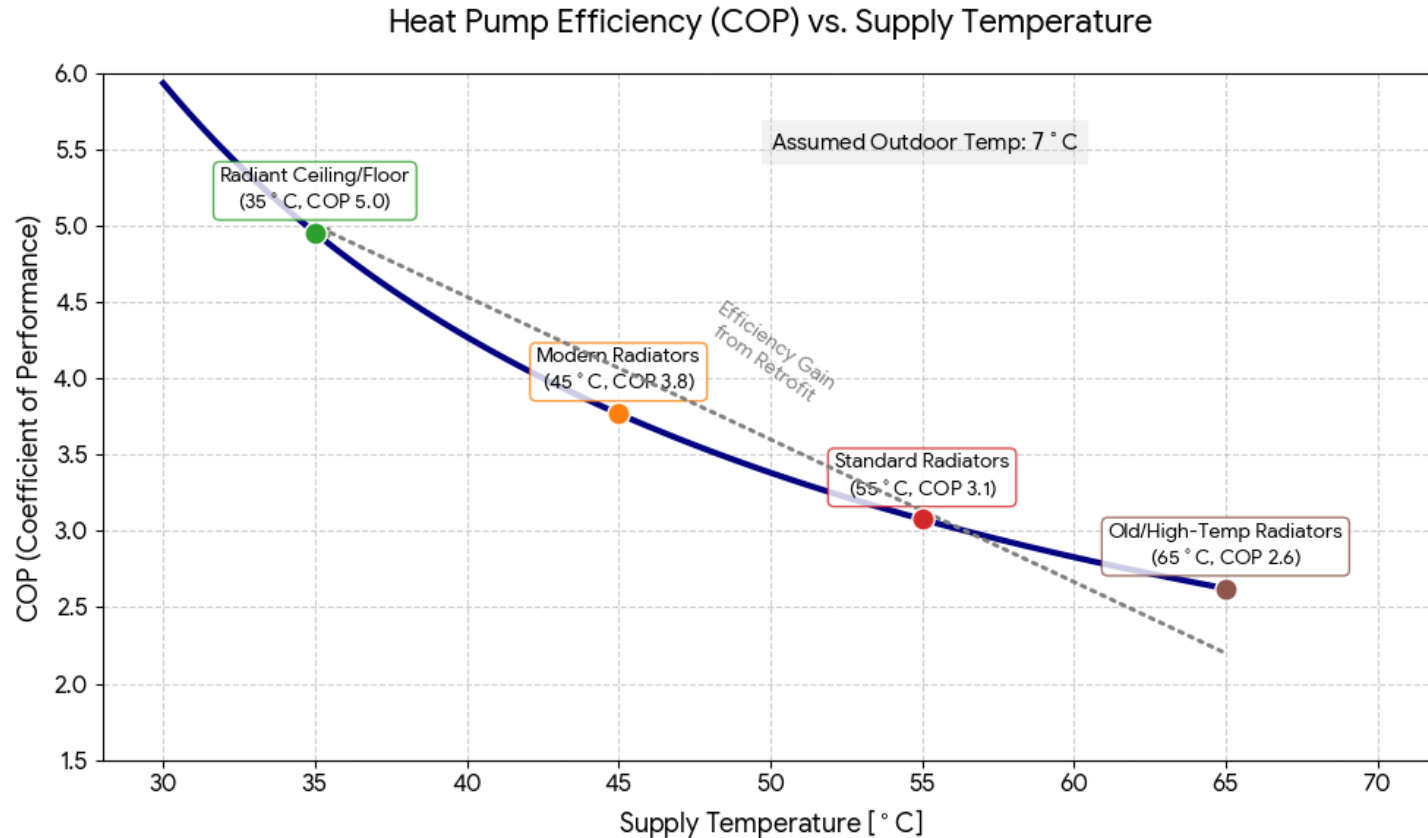


Edad media del parque inmobiliario

Fuente: Zangheri, Paolo; Armani, R.; Kakoulaki, G.; Bavetta, M.; Martirano, G.; Pignatelli, Francesco; y Baranzelli, C. (2020). «Building energy renovation for decarbonisation and Covid-19 recovery: A snapshot at regional level». 10.2760/08629.

Sistemas de alta temperatura frente a sistemas de baja temperatura

- Las calderas tradicionales funcionan a una temperatura de impulsión de 70-80 °C
- Las bombas de calor alcanzan su máxima eficiencia a 30-50 °C
- Una temperatura de impulsión más alta = un COP más bajo y un mayor consumo de electricidad



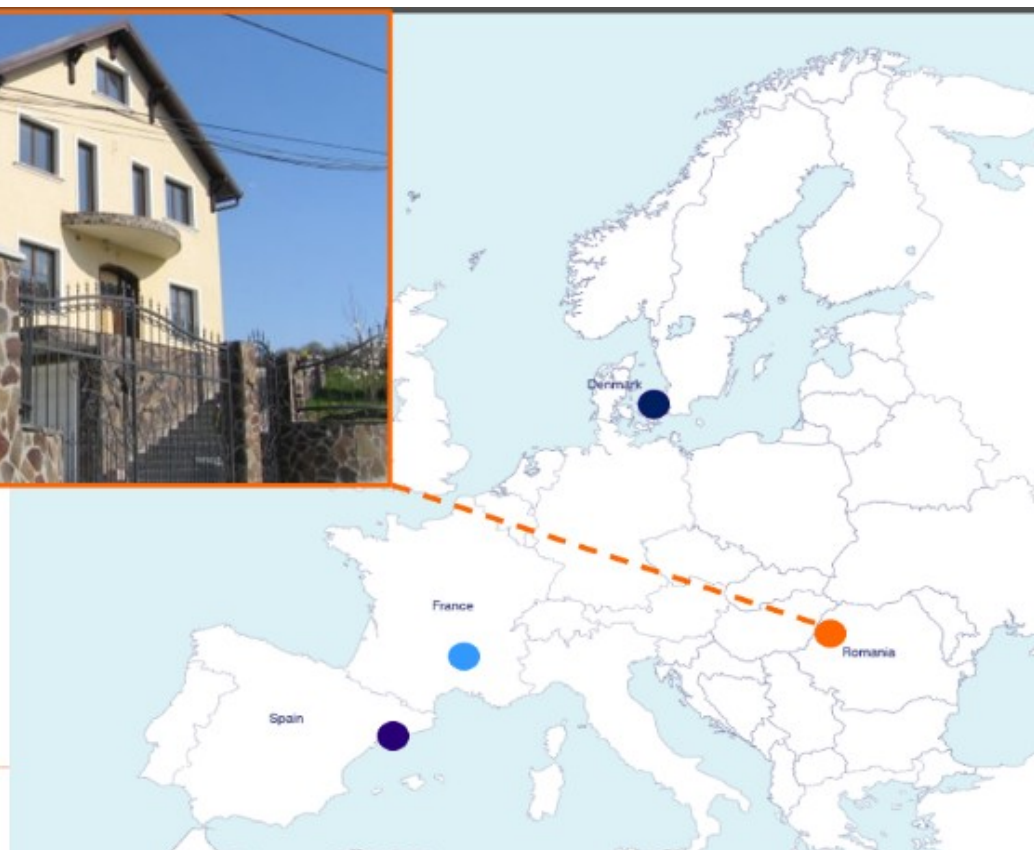
Vía genérica de adaptación

Paso	Descripción	Objetivo principal
Evaluación del edificio y auditoría energética	Identificar ineficiencias y establecer cargas de referencia utilizando las normas EN 16247 e ISO 50002.	Definir las prioridades de rehabilitación y la viabilidad técnica.
Mejoras en la envolvente	Mejorar el aislamiento, el acristalamiento y la estanqueidad para reducir las pérdidas de calor y las infiltraciones.	Reducir la demanda de calefacción prevista y permitir temperaturas del agua más bajas.
Adaptación del sistema	Modificar los emisores, los circuitos de distribución y los sistemas de control para un funcionamiento a baja temperatura.	Lograr la compatibilidad con bombas de calor de alta eficiencia.
Integración de bombas de calor	Seleccionar, dimensionar e instalar unidades adecuadas de aire, agua o geotérmicas.	Electrificar la calefacción y la refrigeración de manera eficiente.
Puesta en marcha y supervisión	Validar los supuestos de diseño, ajustar las curvas de control y verificar el rendimiento.	Garantizar la eficiencia, la seguridad y el confort a largo plazo.
Participación de los usuarios y formación sobre el comportamiento	Formar a los ocupantes sobre el uso correcto del sistema y las expectativas de confort.	Mantener la eficiencia operativa y la satisfacción de los usuarios.
Mantenimiento y supervisión a largo plazo	Implementar un plan de mantenimiento preventivo y un seguimiento continuo de los datos a través de sistemas de gestión de edificios (BMS) o plataformas en la nube	Preservar el rendimiento a lo largo del tiempo, detectar averías de forma temprana y garantizar un ahorro sostenido de energía y CO ₂ .

VIVIENDA UNIFAMILIAR, ORADEA



Family house
ROMANIA

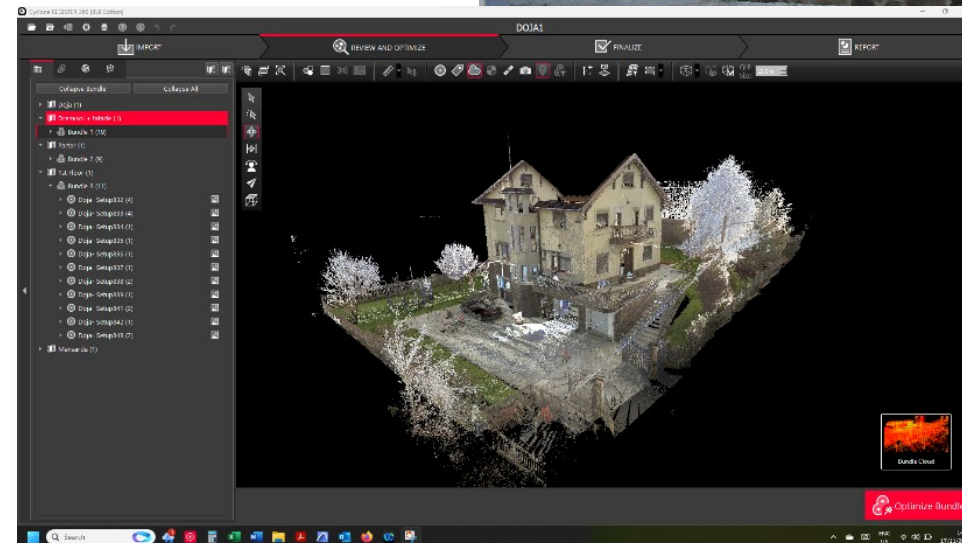


Co-funded by
the European Union



Descripción general del caso de demostración

- Vivienda unifamiliar construida en la década de 1980
- Superficie total de aprox. 400 m²
- Clima continental templado
- Parcela típica de Europa Central y Oriental



Estado inicial (antes de la rehabilitación)

- Sin aislamiento exterior
- Ventanas de madera con acristalamiento simple
- Caldera eléctrica de resistencia
- Radiadores de acero diseñados para 75/65 °C
- Sin refrigeración activa ni ventilación mecánica
- Grandes pérdidas de calor a través de los balcones curvos y las juntas sin sellar
- Fugas de aire que provocan incomodidad en invierno y sobrecalentamiento en verano
- Mala calidad del aire interior debido a la ausencia de ventilación controlada
- Coste anual de calefacción: ~3.500 € (a precios de la electricidad de 2019)
- Consumo de energía primaria: ~450 kWh/m²·año
- Emisiones de CO₂: ~18 toneladas/año

Estrategia de rehabilitación

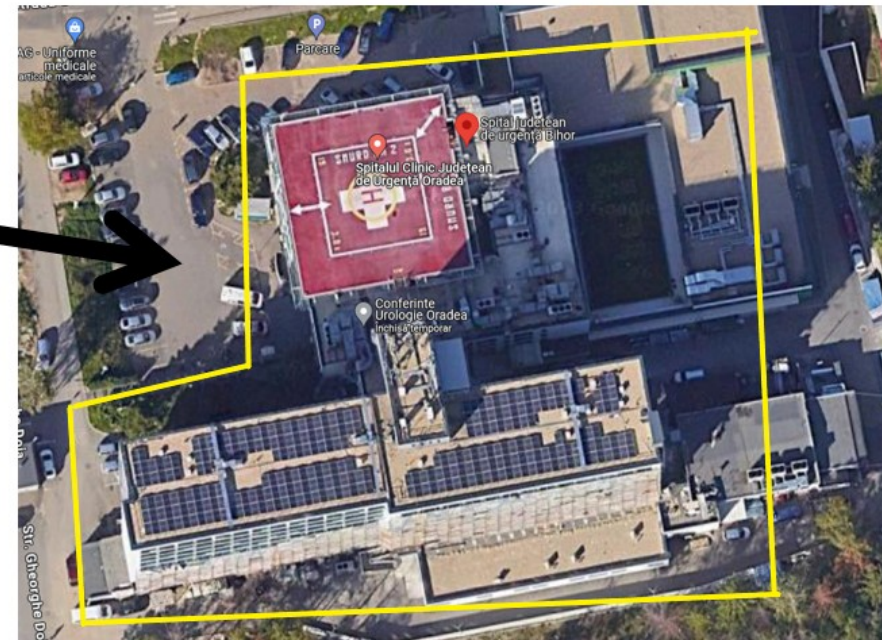
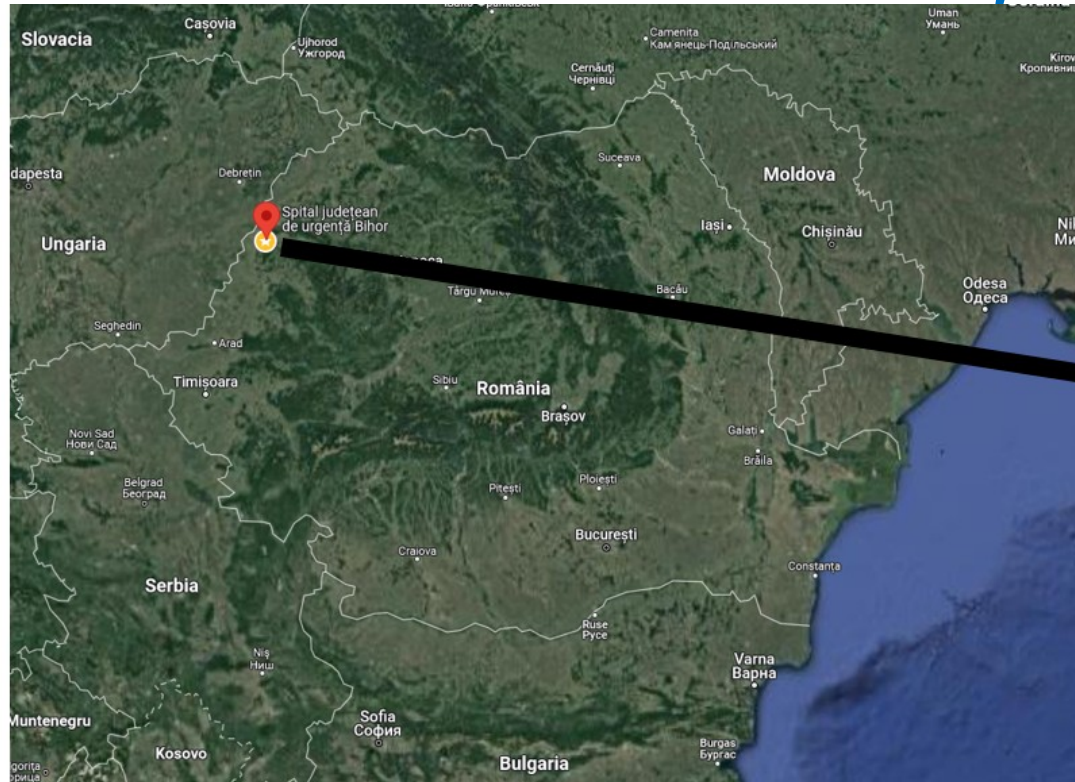
- Aislamiento exterior + aislamiento del tejado
- Sustitución de ventanas
- GSHP de 30 kW (circuito abierto)
- Calefacción y refrigeración por techo radiante



Techo radiante

! Nota de instalación: Los techos radiantes requieren un cuidadoso equilibrado hidráulico. Cada circuito de habitación incluye una válvula reguladora de caudal ajustada durante la puesta en marcha para garantizar una distribución uniforme.

HOSPITAL DE URGENCIAS DEL CONDADO, ORADEA



Co-funded by
the European Union



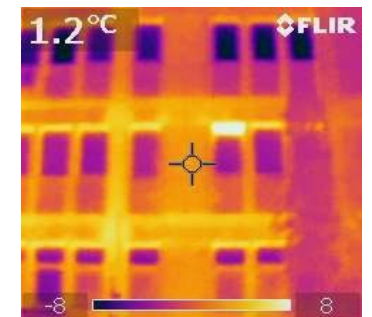
Resumen del caso de demostración

- Gran hospital público
- 10 plantas, aprox. 16 000 m²
- Funcionamiento ininterrumpido las 24 horas del día, los 7 días de la semana
- Elevados requisitos de confort e higiene de calidad de aire



Estado inicial (antes de la rehabilitación)

- Envolverte mal aislada
- Calefacción central basada en combustibles fósiles
- Unidades de aire acondicionado split
- Ventilación sin recuperación de calor



Limitaciones de la modernización

- Sin interrupción de los servicios médicos
- Se requiere redundancia por motivos de seguridad
- Normas estrictas de calidad del aire interior
- Monitorización continua obligatoria



Estrategia de rehabilitación

- Renovación profunda de la envolvente
- Sistemas de distribución de baja temperatura
- Sistema híbrido de bomba de calor geotérmica
- Control avanzado del sistema de gestión de edificios (BMS)

Solución técnica aplicada

- Aislamiento de fachada de 200 mm + aislamiento de cubierta de 400 mm
- Techos radiantes (calefacción y refrigeración)
- 3 bombas de calor geotérmicas de 150 kW + 3 bombas de calor híbridas de 70 kW
- Ventilación local con recuperación de calor



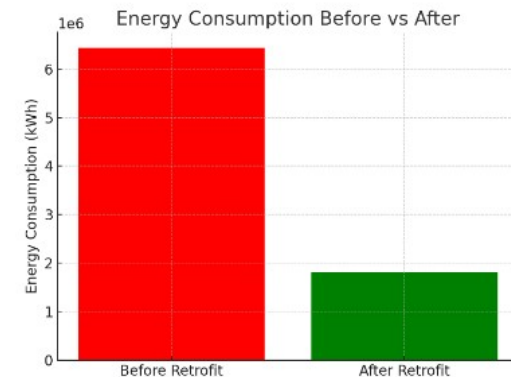
Co-funded by
the European Union



Resultados

- Reducción del consumo de energía primaria: 71,8 %
- Reducción de CO₂: 67 %
- EER de refrigeración ≈ 7,1
- Cumplimiento total de la normativa nZEB

Parámetro	Antes de la rehabilitación	Después de la rehabilitación	Reducción
Consumo de energía primaria	6 439 040 kWh	1 814 619 kWh	-71,82 %
Energía final (no renovable)	490,45 tep	156 tep	-67,24 %
Emisiones de CO ₂	1.517 t/año	497 t/año	-67,2 %



Principios de ambas demostraciones

Vivienda unifamiliar

Directamente replicable en una gran parte de las viviendas unifamiliares de Europa Central y Oriental construidas entre 1960 y 1990 (aproximadamente 15 millones de unidades); una sólida demostración de las reformas integradas de GSHP + envolvente + PV/PVT.

Envolvente + sistema radiante de baja temperatura + GSHP + PV/PVT = reducciones significativas de energía y CO₂ con un alto nivel de confort en las rehabilitaciones residenciales

Hospital de urgencias del condado

Modelo para edificios públicos grandes y críticos (hospitales, clínicas, grandes oficinas) que aspiran a alcanzar los objetivos nZEB; demuestra la viabilidad de grandes campos geotérmicos, bombas de calor híbridas, techos radiantes y sistemas avanzados de gestión de edificios (BMS) en instalaciones que funcionan las 24 horas del día, los 7 días de la semana.

Sistema geotérmico híbrido de baja temperatura + rehabilitación profunda de la envolvente + BMS inteligente =

LECCIÓN 47

De la evaluación a la acción: planificación
de las reformas



Co-funded by
the European Union



Objetivos de la lección 47

- Comprender los pasos de planificación necesarios para una rehabilitación exitosa con bombas de calor.
- Reconocer el papel de las auditorías energéticas y el escaneo 3D en la toma de decisiones técnicas.
- Aprender a calcular la demanda de calefacción y evaluar la idoneidad del edificio.
- Aplicar criterios correctos de selección y dimensionamiento de bombas de calor.
- Integrar las lecciones aprendidas de casos prácticos de rehabilitación del mundo real.



Contenido de la lección 47

**De la evaluación a la acción:
planificación de la
rehabilitación**

**Auditoría energética: la
base de la planificación de
la rehabilitación**

**Cálculo de la demanda
de calefacción**

**Selección del tipo
adecuado de bomba
de calor**

**Método de carga
completa (basado
en la norma EN
12831)**

**Estimación
simplificada**

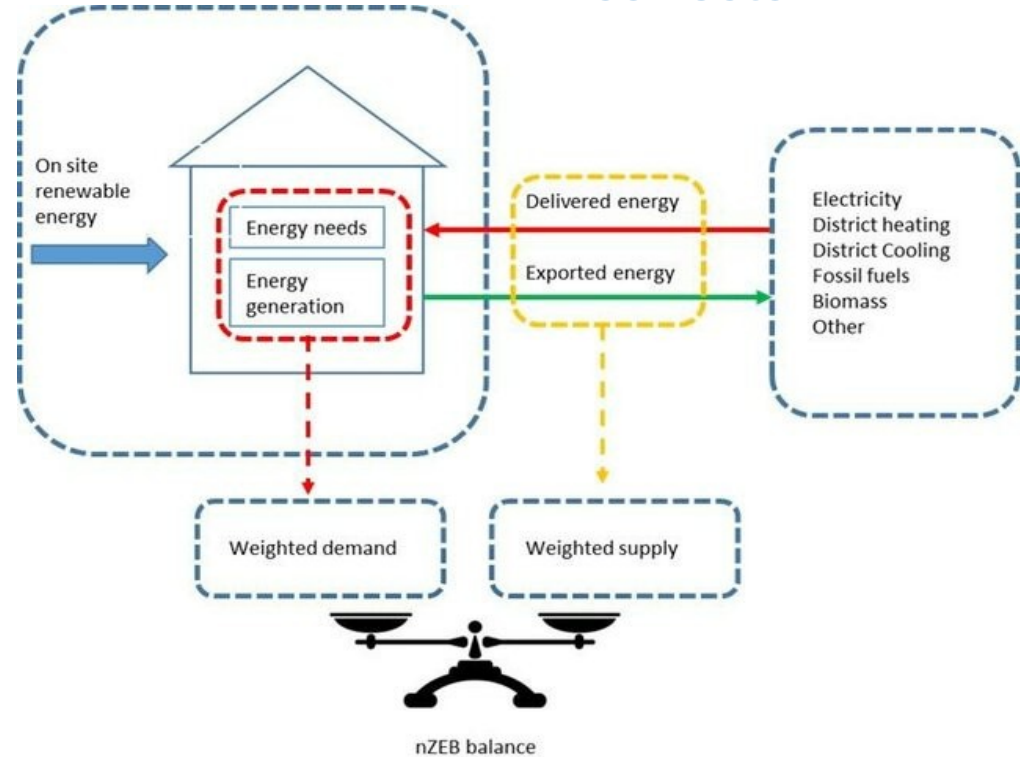
Marco de decisión

**Resumen de
opciones**

De la evaluación a la acción

- El éxito de la rehabilitación comienza con una evaluación precisa
- Los resultados de la auditoría deben traducirse en decisiones de diseño
- La demanda de calefacción determina:
 - El tamaño de la bomba de calor
 - El diseño del sistema de distribución
 - El coste de inversión y la eficiencia

 **Mensaje clave:**
Sin cálculo = sistema incorrecto



Por qué es importante calcular la demanda de calefacción

- Evita el sobredimensionamiento
→ previene los ciclos cortos
- Garantiza el confort a las temperaturas exteriores previstas
- Equilibra el coste de la inversión con el rendimiento
- Permite una correcta zonificación y estrategia de control



Regla general:

Las bombas de calor sobredimensionadas cuestan más y rinden menos.



Co-funded by
the European Union



Cálculo de la demanda de calefacción - (EN 12831)

Transmission losses:

$$Q_t = \sum (U_i \times A_i \times \Delta T)$$

Where:

- U = thermal transmittance [W/m²K]
- A = surface area [m²]
- ΔT = indoor–outdoor temperature difference [°C]

Ventilation losses:

$$Q_v = 0.33 \times n \times V \times \Delta T$$

Where:

- n = air changes per hour
- V = heated volume [m³]

Total heating demand:

$$Q_{total} = Q_t + Q_v$$



**Aplicar margen de seguridad:
+10–15 %**



Co-funded by
the European Union



Método de estimación simplificado

Area-based estimation

$$\dot{Q}_h = A \times q$$

Where:

- A = heated floor area [m²]
- q = specific heat demand [kW/m²]

👉 Adecuado para la **planificación inicial**, no para el diseño final.

Valores típicos:

<u>q (kW/m²)</u>	<u>Tipo de edificio</u>
0,03	Vivienda de bajo consumo energético
0,05	Aislamiento básico
0,08	Estándar (años 80 en adelante)
0,12	Sin aislamiento

Resumen de las opciones de bombas de calor

Bombas de calor aerotérmicas (ASHP)

- Instalación fácil y rápida
- Menor coste inicial
- La eficiencia disminuye en climas fríos
- Ruido exterior (40–60 dB)

Bombas de calor geotérmicas (GSHP)

- Eficiencia muy alta y estable
- Funcionamiento silencioso
- Inversión inicial más elevada
- Larga vida útil (>50 años para el circuito subterráneo)

Bombas de calor de agua (WSHP)

- Máxima eficiencia
- Requiere permisos y gestión del agua
- Ideal para proyectos a escala institucional o de campus

Sistemas híbridos

- Combinan tecnologías (p. ej., GSHP + ASHP)
- Cobertura de picos de carga y redundancia
- Ideal para hospitales y edificios que funcionan las 24 horas del día, los 7 días de la semana



Co-funded by
the European Union



Marco de decisión

Tipo	Inversiones y obras	Eficiencia estacional y rendimiento en climas fríos	Ruido / Impacto visual	Espacio y permisos	Capacidad de refrigeración	La mejor opción
ASHP	Baja; obras mínimas	Bueno en climas templados-moderados; disminuye en climas fríos	Ruido del ventilador exterior; visible	Ocupa muy poco espacio; permisos sencillos	Reversible;	Urbano / espacios reducidos, reformas rápidas, presupuesto reducido
GSHp	Elevado; perforación	Elevado y estable; excelente en climas fríos	Muy silencioso; invisible desde el exterior	Acceso al terreno/perforación; permisos	Activo + pasivo/refrigeración libre	Climas fríos, cargas elevadas, enfoque en los gastos operativos a largo plazo
WSHP	Medio-alto; específico del emplazamiento	Muy alto; fuente estable	Muy silencioso	Requiere derechos de agua/permisos; filtración	Refrigeración altamente eficiente	Emplazamientos con acceso a acuíferos, lagos o ríos; campus
Híbrido	En venta	Optimizado durante todo el año	Depende de la mezcla	Mixto	Flexible	Instalaciones críticas, gestión de picos, redundancia



LECCIÓN 48

Reducción de la temperatura del agua en los
sistemas de calefacción hidrónica

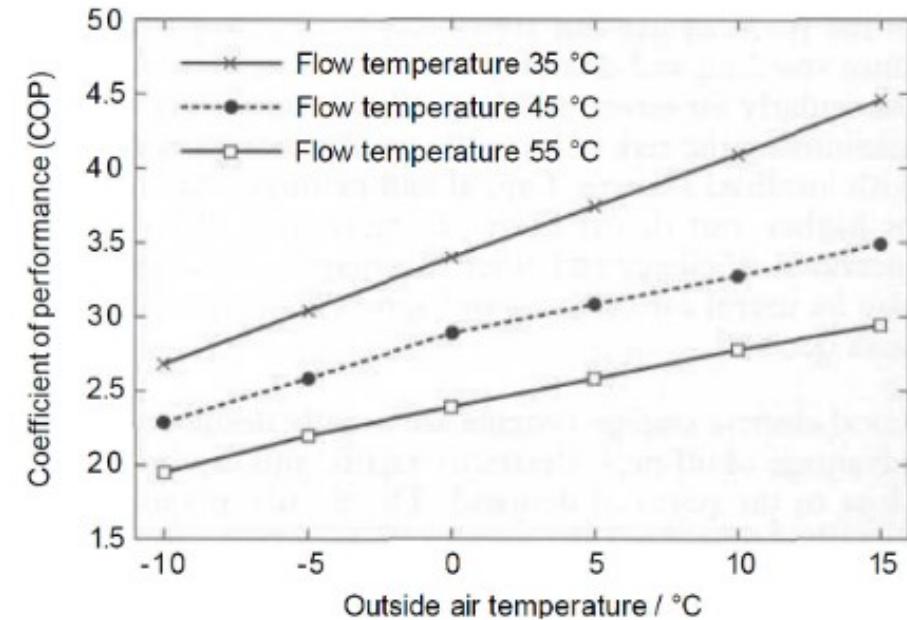


Co-funded by
the European Union



Objetivos de la lección 48

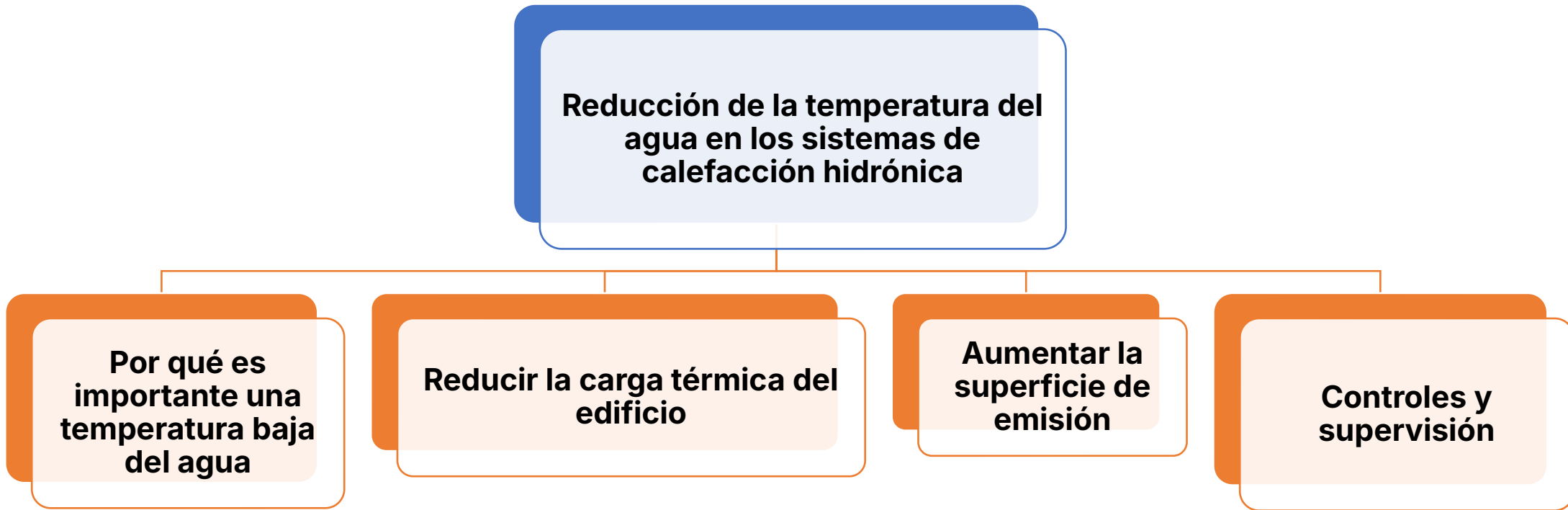
- Comprender la relación entre la temperatura del agua y la eficiencia de la bomba de calor
- Identificar dos estrategias clave: reducir la carga del edificio y aumentar la superficie de los emisores
- Aplicar las lecciones aprendidas de las rehabilitaciones de la vivienda y el hospital de Oradea.
- Interpretar el comportamiento del SCOP en relación con las temperaturas de impulsión y retorno



Eficiencia de las bombas de calor en función de la temperatura de impulsión

Fuente: Eficiencia energética en edificios, Guía F del CIBSE, segunda edición, enero de 2004.

Contenido de la lección 48



Co-funded by
the European Union



Las tres claves para mejorar la eficiencia

1. Menor demanda de calefacción	Aislamiento de la envolvente
	Estanqueidad y ventilación
	Reducción de la carga máxima
2. Menor temperatura de suministro	Superficies de emisión más amplias
	Control con compensación climática
	Menor aumento de temperatura
3. Funcionamiento estable	Sistema hidráulico equilibrado
	Suministro eléctrico adecuado
	Modulación continua

¿Qué cambia realmente cuando baja la temperatura?

La reducción de la temperatura de impulsión transforma **el comportamiento de todo el sistema**.

Tendencia típica del SCOP:

~35 °C de impulsión → mayor SCOP

~50 °C de impulsión → menor SCOP

~60 °C de impulsión → SCOP mucho más bajo

Causa → Efecto

- Menor diferencia de temperatura → **menor esfuerzo del compresor**
- Menos esfuerzo → **mayor SCOP**
- Mayor SCOP → **menor consumo eléctrico**
- Menor consumo → **costes de funcionamiento predecibles**

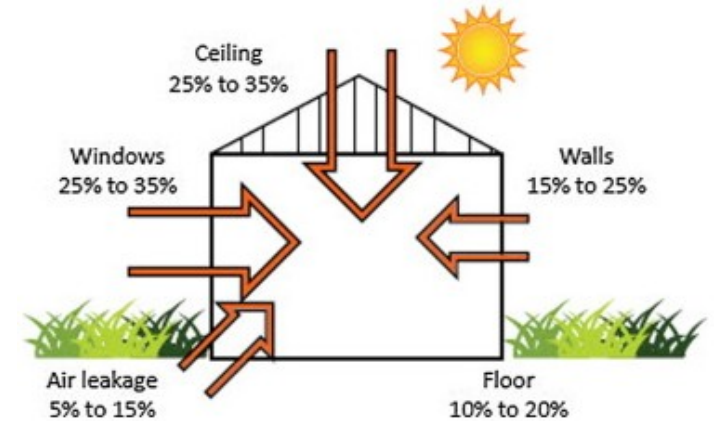
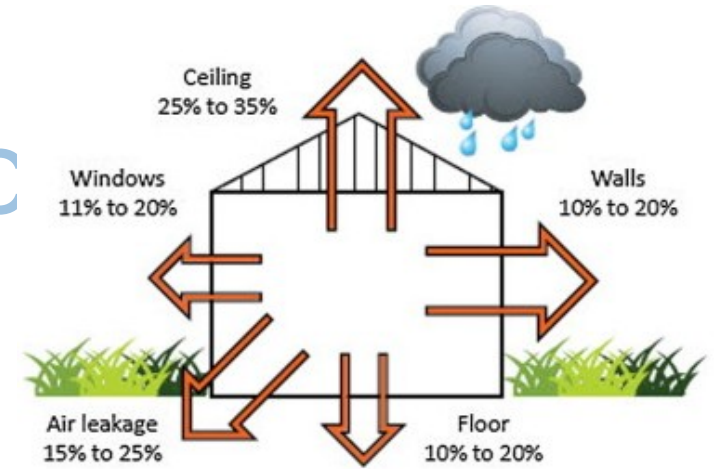
Por cada **reducción de 10 °C** en la temperatura de suministro
→ **+15–20 % de SCOP**

Aislamiento y pérdidas de c

Las pérdidas elevadas obligan a utilizar temperaturas de suministro altas y reducen la eficiencia.

- Aislamiento deficiente → altas pérdidas de transmisión
- Altas pérdidas → alta demanda de potencia del emisor
- Alta demanda → mayor temperatura de suministro
- Temperatura más alta → menor COP/SCOP

No se pueden compensar las pérdidas de calor con una bomba de calor «mejor».



Flujo de calor en una vivienda sin aislamiento

Fuente: Ingy El-Darwish, Mohamed Gomaq, «Retrofitting strategy for building envelopes to achieve energy efficiency», Alexandria Engineering Journal, volumen 56, número 4, diciembre de 2017, páginas 579-589

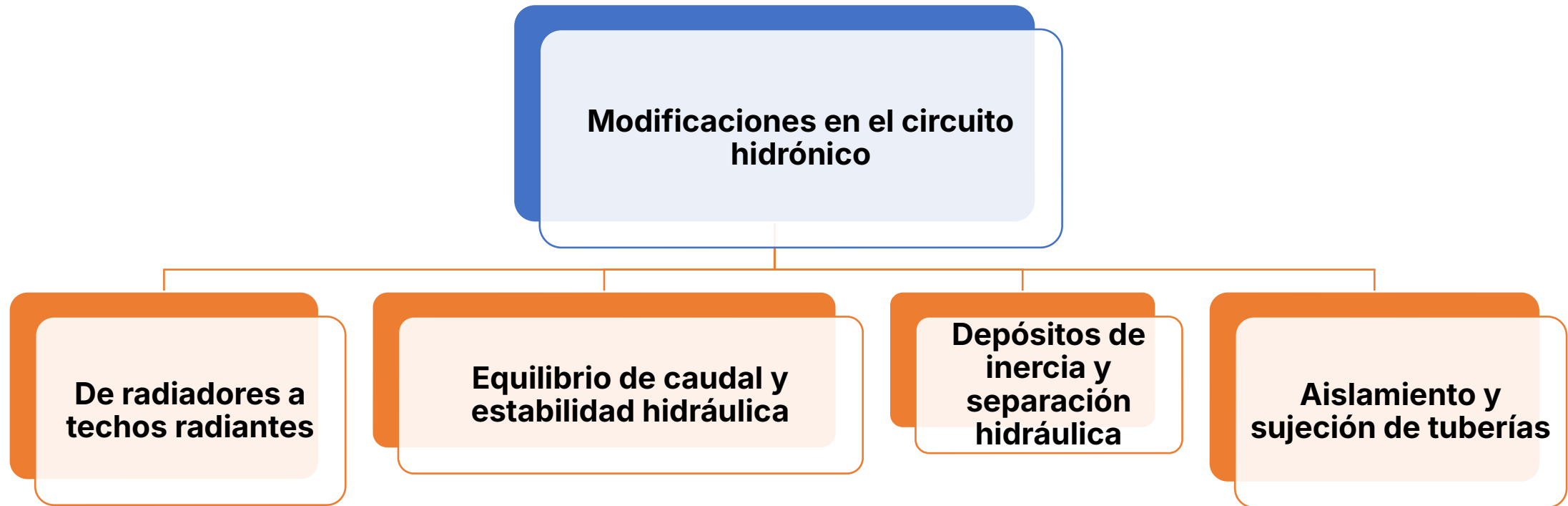
LECCIÓN 49

Modificaciones del circuito hidráulico

Objetivos de la lección 49

- Comprender las limitaciones de los sistemas hidrónicos tradicionales a la hora de integrar bombas de calor.
- Identificar las ventajas de los sistemas de techo radiante en comparación con los circuitos de radiadores tradicionales.
- Aprender estrategias prácticas para equilibrar caudales, separación hidráulica y aislamiento.

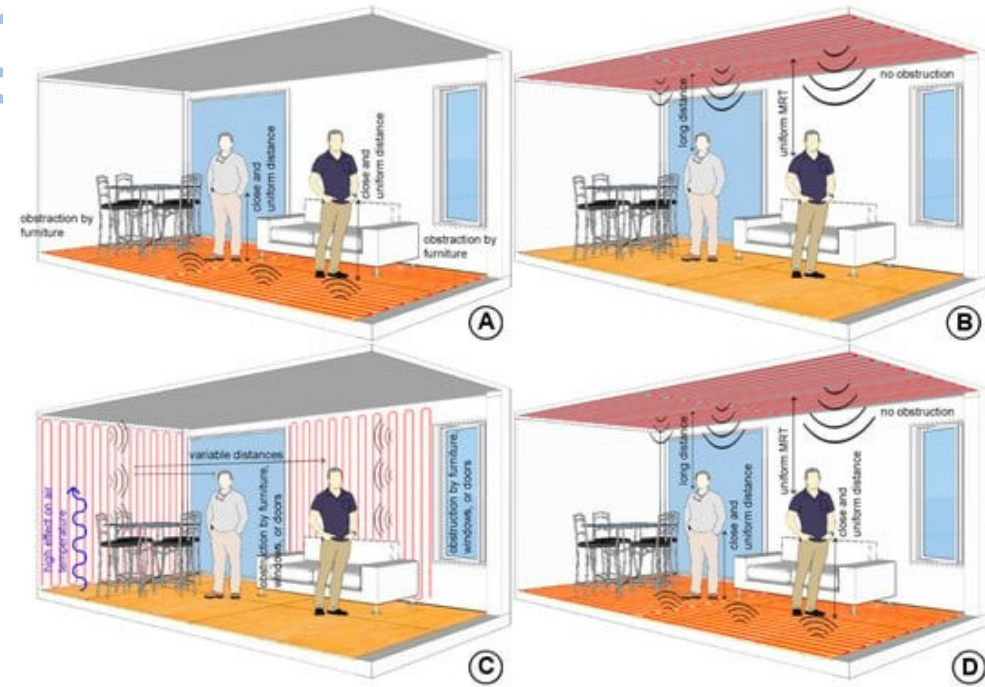
Contenido de la lección 49



Emisores: convertir las superficies en fuentes de energía

A bajas temperaturas, la **superficie sustituye a la temperatura** como principal factor de confort.

- Los radiadores dependen de un ΔT elevado y de la convección
- Los sistemas radiantes funcionan mediante el **intercambio de calor en grandes superficies**



(A) Sistemas radiantes montados en el suelo; (B) Sistemas radiantes montados en el techo; (C) Sistemas radiantes montados en la pared; (D) Sistemas radiantes montados en el suelo y el techo

Fuente: Do, H.Q.; Luther, M.B.; Amirkhani, M.; Wang, Z.; Martek, I. Radiant Conditioning Retrofitting for Residential Buildings. Energies 2022, 15, 449. <https://doi.org/10.3390/en15020449>



Co-funded by
the European Union



El confort se proporciona de
forma suave, uniforme y
silenciosa



La hidráulica: el motor silencioso del rendimiento

Las bombas de calor dependen de **un caudal estable**, no de una temperatura elevada.

Lógica paso a paso:

- Los sistemas de baja temperatura requieren **un ΔT bajo** ($\approx 5-7\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- Un ΔT bajo requiere **caudales correctos**
- Un caudal adecuado requiere **equilibrado y control de presión**



- Bombas de velocidad variable
- Válvulas de equilibrado o independientes de la presión
- Depósitos de inercia para evitar ciclos cortos
- Tuberías y accesorios totalmente aislados

LECCIÓN 50

Integración eléctrica de las bombas de calor



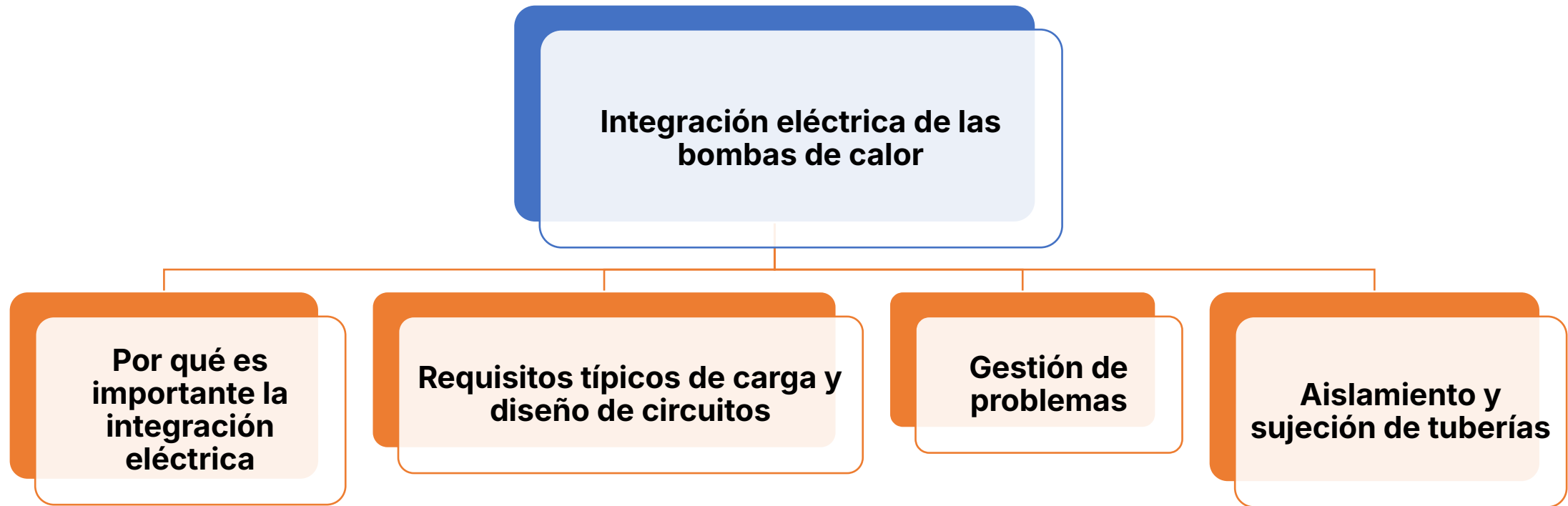
Co-funded by
the European Union



Objetivos de la lección 50

- Comprender las limitaciones de los sistemas eléctricos antiguos en proyectos de rehabilitación
- Reconocer los requisitos eléctricos clave para instalar bombas de calor de forma segura
- Aprender estrategias para gestionar la corriente de arranque y la demanda máxima
- Explorar conceptos básicos de integración en redes inteligentes

Contenido de la lección 50



La columna vertebral invisible del éxito de las reformas

- Evalúe el cuadro principal y la capacidad de suministro. - Compruebe la intensidad disponible y la estabilidad de la tensión antes del diseño.
- Utilice dispositivos de protección adecuados. - RCD tipo A o F; interruptores dedicados; protección contra sobretensiones (SPD tipo 2).
- Controle las corrientes de arranque. - Opte por compresores con inversor o añada módulos de arranque suave.
- Planifique la resiliencia energética. - En hospitales o zonas remotas, coordine con generadores de reserva o almacenamiento en baterías.

Conclusión clave

Un sistema eléctrico bien diseñado garantiza

- ✓ Seguridad
- ✓ Compatibilidad con la red
- ✓ Optimización de costes
- ✓ Fiabilidad a largo plazo

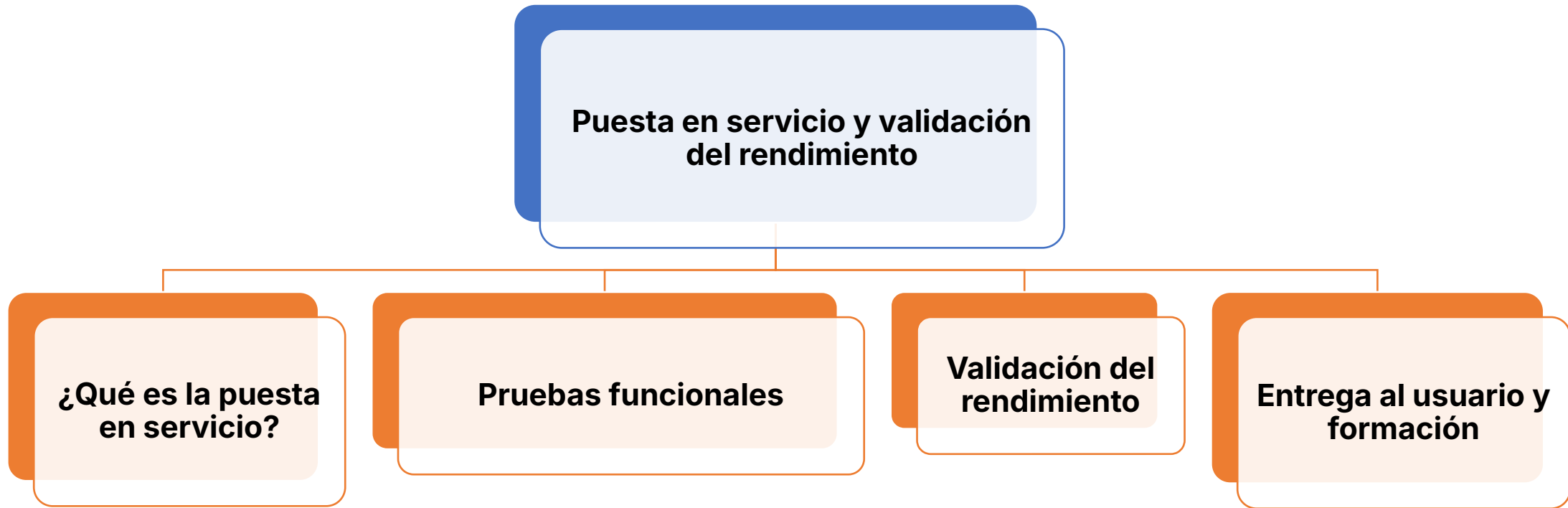
LECCIÓN 51

Puesta en servicio y validación del rendimiento

Objetivos de la lección 51

- Comprender el propósito y los pasos de la puesta en servicio en las reformas de bombas de calor.
- Identificar las comprobaciones clave del sistema antes, durante y después de la puesta en marcha.
- Aprender a validar el rendimiento mediante mediciones y monitorización.
- Aplicar las lecciones aprendidas de las rehabilitaciones de la vivienda y el hospital de Oradea.

Contenido de la lección 51



¿Qué es la puesta en servicio?

Antes de la puesta en marcha, compruebe que el sistema está listo

Circuito hidráulico	Lleno, purgado de aire, sin fugas visibles
Circuito eléctrico	Tamaño correcto del disyuntor, RCD operativo, cableado seguro
Depósito de expansión	Del tamaño adecuado, presurizado previamente, aislado
Emisores	Válvulas abiertas, flujo confirmado, sin aire atrapado
Almacenamiento de agua caliente sanitaria	Depósito conectado, sensores de temperatura en su sitio
Controlador	•Ajustado a la curva de calentamiento y al programa de tiempo correctos

 Co-funded by
the European Union



Pruebas de funcionamiento de la modernización

Subsistema	Verificación	Objetivo / Observación
Compresor	Arranque suave, sin vibraciones	Aumento gradual de la potencia mediante variador
Bombas de circulación	Caudal confirmado en los medidores	Estable dentro de un $\pm 5\%$ del caudal de diseño
ΔT (calefacción)	Ida – retorno	5–7 °C
ΔT (refrigeración)	Ida – retorno	3–5 °C
AGU (si lo hay)	Prueba de tiempo de recuperación	Dentro de las especificaciones
Descongelación (solo con fuente de aire)	Ciclo automático verificado	Finaliza en



Validación del rendimiento de la modernización

Métrica	Fórmula Método	Valor objetivo
COP (instantáneo)	Potencia calorífica Potencia eléctrica	$\div$ >2,5 (dependiendo de la temperatura)
ΔT en los emisores	Temperatura de impulsión – temperatura de retorno	3–7 °C
Consumo eléctrico	Pinza amperimétrica + tensión	Cumple con las especificaciones nominales
Temperatura ambiente	Sensor de aire en la zona	Punto de consigna ± 1 °C

Consejos prácticos

- ✓ Siga las listas de comprobación de la norma EN 14336 para sistemas de calefacción por agua.
- ✓ Compruebe siempre el ΔT y el caudal antes de la activación eléctrica.
- ✓ Documente todas las lecturas, incluyendo capturas de pantalla del BMS o del registrador.
- ✓ Utilice pinzas amperimétricas y termografía infrarroja para comprobar el funcionamiento del compresor y las tuberías.
- ✓ Estabilice los sistemas durante 48 horas antes de la validación final del SCOP.
- ✓ Proporcione al cliente una «Guía de funcionamiento para el usuario» clara.
- ✓ Programe la primera inspección de seguimiento 3 meses después de la entrega.

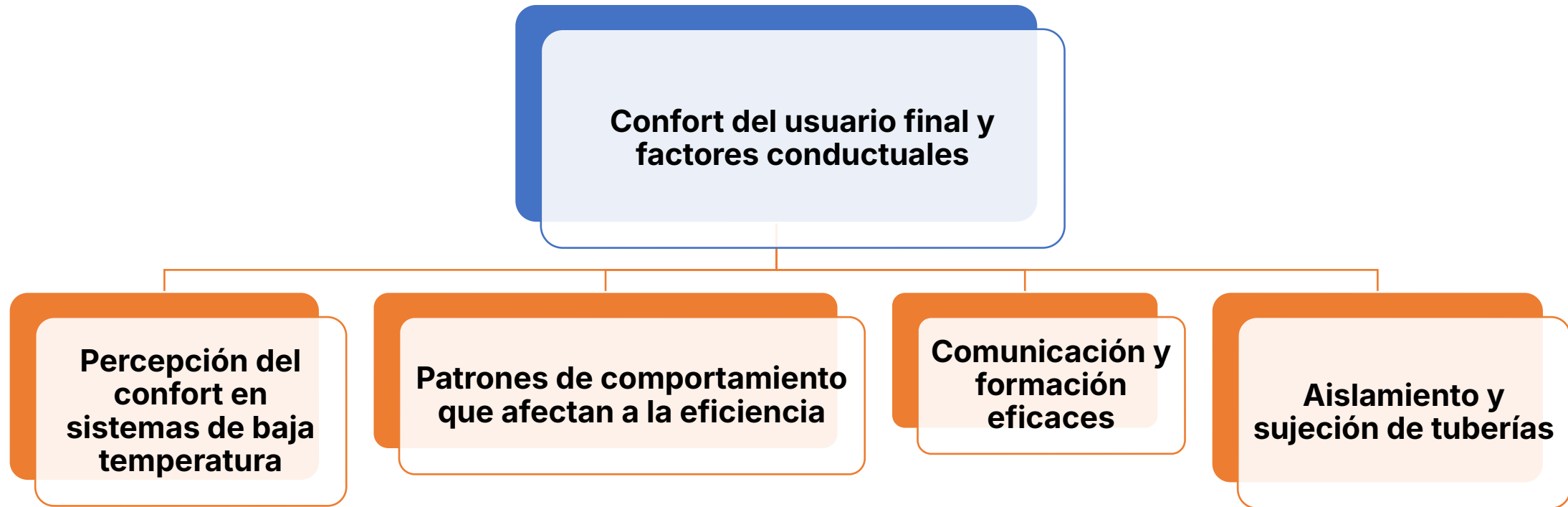
LECCIÓN 52

Comodidad del usuario final y factores conductuales

Objetivos de la lección 52

- Comprender cómo los sistemas de bomba de calor de baja temperatura influyen en la percepción de confort del usuario.
- Identificar los errores de comportamiento habituales que reducen la eficiencia.
- Aprender cómo los controles inteligentes y la formación mejoran los resultados.
- Aplicar las lecciones aprendidas de las reformas de la vivienda y el hospital de Oradea.

Contenido de la lección 52



Percepción de confort en sistemas de baja temperatura

Calderas tradicionales (suministro a 75–80 °C):

- Los radiadores están calientes al tacto.
- Las habitaciones se calientan rápidamente, pero de forma desigual.

Bombas de calor con techos radiantes (35–45 °C de impulsión):

- Las superficies solo se notan ligeramente cálidas o frescas.
- El confort proviene de una calefacción/refrigeración uniforme y de fondo.
- Los cambios de temperatura son más lentos, pero más estables.

Comentario de un usuario: «Los radiadores están fríos, ¿funciona el sistema?»

Respuesta: *Sí, con las bombas de calor, el confort proviene de una calefacción constante a baja temperatura, no de picos de temperatura elevados.*

Consejos prácticos

- Durante el traspaso, explique que los radiadores pueden estar fríos al tacto, pero que las habitaciones siguen estando calientes.
- Recomendemos el funcionamiento continuo; evite los apagados nocturnos.
- Demuestre el uso de la aplicación o del termostato en tiempo real.
- Instale sensores de humedad y punto de rocío para la refrigeración radiante.
- Proporcione guías impresas y digitales en el idioma local.
- Programe visitas de seguimiento para reforzar el comportamiento correcto.

Conclusión clave:
cuando los usuarios confían en el sistema, aumenta el confort y disminuye el consumo de energía.

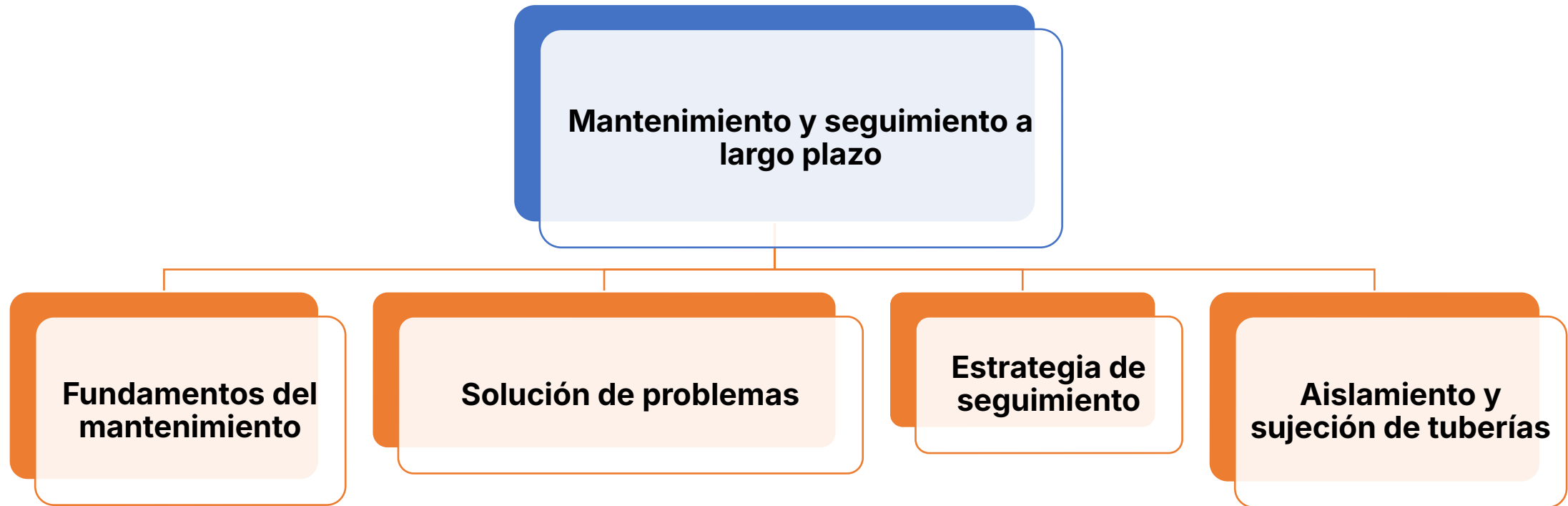
LECCIÓN 53

Mantenimiento y seguimiento a largo plazo

Objetivos de la lección 53

- Comprender los requisitos de mantenimiento de los sistemas de bomba de calor en aplicaciones de rehabilitación.
- Identificar fallos operativos comunes y métodos de diagnóstico.
- Aprender métodos de monitorización a largo plazo para preservar la eficiencia y la fiabilidad.
- Aplicar las lecciones aprendidas de los casos prácticos residenciales y hospitalarios de Oradea.
- Explorar los conceptos de gemelo digital y mantenimiento predictivo para una optimización avanzada.

Contenido de la lección 53



Breve formación para el usuario final.

Tareas de mantenimiento

Componente	Acción	Frecuencia
Filtros (aire/salmuera)	Limpiar o sustituir	Cada 3–6 meses
Bombas y válvulas	Comprobar el ruido, el caudal y las vibraciones	Anualmente
Vasos de expansión	Comprobar la presión, recargar si es necesario	Anualmente
Conexiones eléctricas	Apretar, inspeccionar en busca de corrosión	Anualmente
Dispositivos diferenciales y disyuntores	Prueba de funcionamiento	Anualmente
Sensores y termostatos	Comprobar la calibración	Anualmente
Circuito de refrigerante	Prueba de fugas según el Reglamento sobre gases fluorados (UE 517/2014)	Anualmente o según sea necesario
Software/BMS	Actualización del firmware, copia de seguridad de la configuración	Según disponibilidad

Controles y supervisión: mantener la eficiencia

Los sistemas de baja temperatura requieren **precisión**, no intervención manual.

- La curva de calefacción con compensación climática ajusta automáticamente la temperatura de impulsión
- La zonificación garantiza el confort sin alterar el flujo del sistema
- El control del punto de rocío protege las superficies de refrigeración radiante
- La monitorización realiza un seguimiento del COP, el ΔT , el consumo energético y el confort



Co-funded by
the European Union



Validación del rendimiento de la modernización

Métrica	Fórmula / Método	Objetivo
COP (instantáneo)	Potencia calorífica ÷ Potencia eléctrica	>2,5 (dependiendo de la temperatura)
ΔT a través de los emisores	Temperatura de impulsión – temperatura de retorno	3–7 °C
Consumo eléctrico	Pinza amperimétrica + tensión	Cumple con las especificaciones nominales
Temperatura ambiente	Sensor de aire en la zona	Punto de consigna ± 1 °C



Referencias

- **Comité Europeo de Normalización**. (2017). *EN 12831-1: Eficiencia energética de los edificios. Método para el cálculo de la carga térmica de diseño*. Bruselas.
- **Organización Internacional de Normalización**. (2017). *ISO 52016-1: Eficiencia energética de los edificios. Necesidades energéticas para calefacción y refrigeración*. Ginebra.
- **Comisión Europea**. (2018). *Directiva (UE) 2018/844 por la que se modifica la Directiva EPBD*. Bruselas.
- **Comisión Europea**. (2020). *Estrategia «Ola de renovación» para Europa*. COM(2020) 662 final.
- **AIE**. (2022). *Bombas de calor: seguimiento del progreso de la energía limpia*. París.
- **AIE**. (2023). *El futuro de las bombas de calor*. París.
- **EHPA**. (2022). *Bombas de calor en edificios: aplicaciones, eficiencia e integración de sistemas*. Bruselas.
- **EHPA**. (2023). *Guía de buenas prácticas: Reacondicionamiento de bombas de calor en edificios residenciales*. Bruselas.
- **REHVA**. (2012). *Guía n.º 7: Calefacción a baja temperatura y refrigeración a alta temperatura*. Bruselas.
- **REHVA**. (2018). *Guía n.º 23: Renovación de edificios con sistemas de climatización*. Bruselas.
- **Fraunhofer ISE**. (2020). *Sistemas de bombas de calor en edificios existentes: rendimiento y estrategias de diseño*. Friburgo.
- **Fraunhofer ISE**. (2022). *Resultados del seguimiento de las rehabilitaciones con bombas de calor en Europa*. Friburgo.
- **ASHRAE**. (2020). *Manual ASHRAE: Sistemas y equipos de climatización*. Atlanta.
- **ASHRAE**. (2021). *Manual ASHRAE: Fundamentos*. Atlanta.
- Lund, H., Werner, S., Wiltshire, R., Svendsen, S., Thorsen, J. E., Hvelplund, F. y Mathiesen, B. V. (2014). *Calefacción urbana de cuarta generación*. **Energy**, 68, 1-11.
- Buffa, S., Cozzini, M., D'Antoni, M., Baratieri, M. y Fedrizzi, R. (2019). *Sistemas de calefacción y refrigeración urbana de quinta generación*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 104, 504-522.
- Brandl, D., Mach, T., Karmann, C. y Struck, C. (2016). *Evaluación del confort térmico y el rendimiento energético de los sistemas de calefacción y refrigeración por radiación*. **Energy and Buildings**, 109, 351-363.
- Unión Europea. (2019). *Directrices de la UE para edificios de consumo energético casi nulo (nZEB)*. Oficina de Publicaciones de la UE.
- **IDAE**. (2023). *Guía Técnica de Bombas de Calor en Rehabilitación de Edificios*. Madrid.
- Hepbasli, A. y Kalinci, Y. (2009). *Una revisión de los sistemas de calentamiento de agua con bombas de calor*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 13(6-7), 1211-1229.



¡Gracias por su atención!



LITHUANIAN
ENERGY
INSTITUTE



euROTRAINING

ЕНЕРГИЙНА
АГЕНЦИЯ
ПЛОВДИВ



ENERGY
AGENCY OF
PLOVDIV



GEOEXCHANGE
ROMANIAN GEOEXCHANGE SOCIETY



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA



AdEPORTO
AGÊNCIA DE ENERGIA DO PORTO



Co-funded by
the European Union

