



Módulo 4

Instalación y mantenimiento de bombas de calor

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 4

Este módulo sirve como guía técnica exhaustiva que abarca todo el ciclo de vida de la instalación y el mantenimiento de las bombas de calor. El contenido comienza con la clasificación de los distintos sistemas y detalla la necesidad de realizar una revisión previa del emplazamiento, evaluando factores críticos como el cumplimiento de las normas acústicas, la gestión de la condensación y la accesibilidad para el mantenimiento. Ofrece instrucciones detalladas para realizar las conexiones de refrigerante, hidráulicas y eléctricas, al tiempo que destaca constantemente la importancia de la eficiencia energética y las normas reglamentarias. Además, el manual describe la aplicación de herramientas de medición especializadas —como colectores digitales y medidores de micras— y protocolos de puesta en servicio rigurosos diseñados para verificar que el equipo funcione de acuerdo con los parámetros de diseño previstos. Por último, el texto hace especial hincapié en la seguridad laboral mediante la implementación de medidas preventivas como el bloqueo y etiquetado (LOTO), el uso de equipos de protección individual (EPI) y procedimientos establecidos de respuesta ante emergencias para incidentes como descargas eléctricas o fugas de refrigerante.



Co-funded by
the European Union



Contenido del módulo 4

Lección 22	Tipos de bombas de calor según su instalación	Lección 27	Conexiones eléctricas y controles
Lección 23	Repaso preliminar y planificación de la instalación	Lección 28	Herramientas y equipos de medición
Lección 24	Instalación de unidades interiores y exteriores	Lección 29	Puesta en marcha de bombas de calor
Lección 25	Conexiones de las tuberías de refrigerante	Lección 30	Mantenimiento preventivo y correctivo de las
Lección 26	Conexiones hidráulicas	Lección 31	Seguridad de la instalación y el mantenimiento

LECCIÓN 22

Tipos de bombas de calor según su instalación

22.1 Fundamentos y nomenclatura (de fuente a sumidero)

- Definición de bomba de calor: máquina de refrigeración reversible que conecta dos depósitos térmicos; su eficiencia viene determinada por la diferencia de temperatura entre ambos.
- Clasificación (EN 14511): La nomenclatura sigue el formato «de fuente a sumidero» (p. ej., A2W, B2W), donde el primer término es la fuente de calor y el segundo es el medio de distribución.
- Denominaciones comunes:
 - Aire-aire (A2A): 1 kW - 250 kW; incluye sistemas split de pared y sistemas VRF.
 - Aire-agua (A2W): 4 kW - 1 MW; a menudo denominados monobloques «aerotérmicos» o enfriadores.
 - Salmuera-agua (B2W): 4 kW - 2 MW; extrae calor de circuitos cerrados de glicol (pozos/zanjas).

SOURCE-TO-SINK MATRIX			
	Air-to-Air (A2A)	-20°C to +40°C range	Quick install Defrost required < 7°C
	Air-to-Water (A2W)	Standard for hydronic	Monobloc vs. Split
	Water-to-Water (W2W)	5-25°C source	High COP Permits required
	Brine-to-Water (B2W)	0-15°C (Stable)	Lifespan >50 years High CAPEX



Co-funded by
the European Union

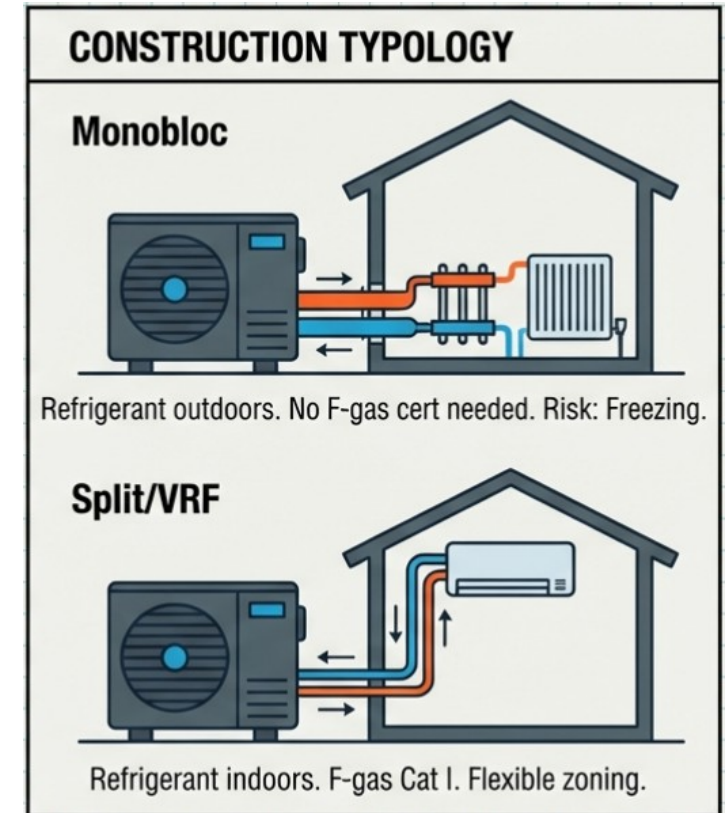


22.2 Características del medio ambiental

- Aire exterior: Omnipresente y de rápida instalación, pero sujeto a ciclos de congelación/descongelación por debajo de $\sim 7\text{ }^{\circ}\text{C}$ y a normativas acústicas.
- Aguas subterráneas/superficiales: Ofrecen temperaturas de entrada estables (entre $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$) y un COP elevado, pero requieren permisos de captación y diseños antiincrustantes.
- Salmuera/suelo: Variaciones de temperatura anuales reducidas y potencial de refrigeración pasiva; requiere una elevada inversión inicial para la perforación, pero ofrece una vida útil de más de 50 años.
- Aire de escape: Captura calor «gratuito» de baja calidad procedente de la ventilación; capacidad limitada ($\approx 330\text{ W}$ por $100\text{ m}^3/\text{h}$).

22.3 Tipologías de construcción: monobloque frente a split

- Compacto / Monobloque:
 - El circuito de refrigerante está totalmente sellado de fábrica; suele contener entre 1 y 5 kg de refrigerante.
 - Solo se realizan in situ las conexiones hidráulicas (agua/salmuera), lo que requiere licencias de fontanería estándar.
- Sistemas split / VRF:
 - El compresor se encuentra en el exterior y el evaporador en el interior; requiere montaje in situ y certificación de gases fluorados.
 - Permite tramos de tubería largos (hasta 50 m en vertical) y una zonificación flexible, pero requiere el vaciado y la carga in situ.



Co-funded by
the European Union



22.4 Escalas de aplicación y rangos de carga

- Viviendas unifamiliares (3-15 kW): Se prioriza un bajo mantenimiento y un tamaño compacto; se prefieren los sistemas split A2A o los monobloques A2W.
- Multifamiliares / Pequeños comercios (15-100 kW): Utiliza sistemas en cascada A2W para la redundancia o E2W para la recuperación individual de ACS.
- Institucional / Industrial (100 kW - 10 MW): Se centra en la recuperación de calor de alta temperatura W2W y la redundancia N+1 para hospitales/centros de datos.
- Redes de distrito (2-30 MW): Unidades W2W a gran escala con fuente fluvial o marina para la descarbonización urbana.

LECCIÓN 23

Revisión preliminar y planificación de la instalación

23.1 Objetivos estratégicos de la revisión previa a la instalación

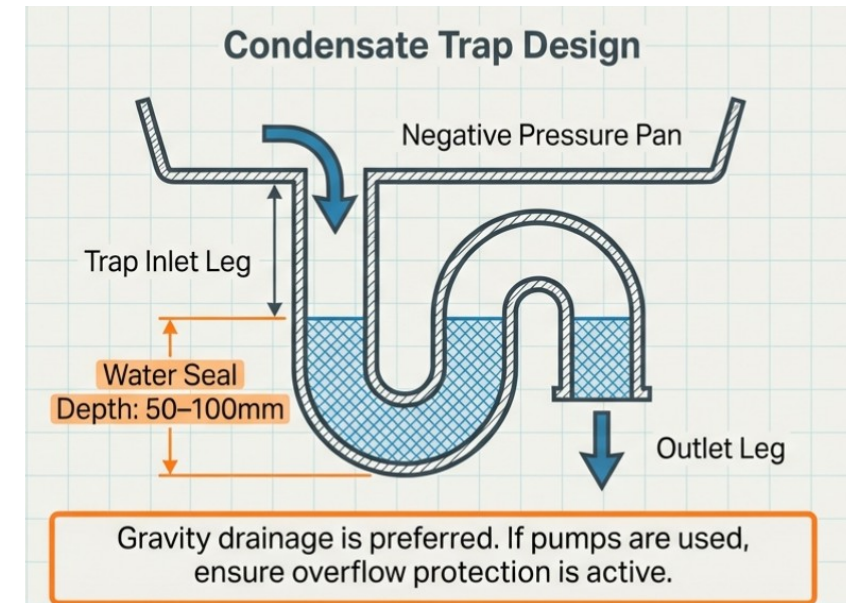
- Mitigación de riesgos: Identificar las condiciones específicas del emplazamiento y los retos logísticos antes de comenzar los trabajos para evitar retrasos y costes adicionales.
- Compatibilidad del sistema: en las reformas, los técnicos deben verificar si los radiadores existentes pueden proporcionar confort a temperaturas más bajas de la bomba de calor (45-55 °C).
- Definición del alcance: Aclarar las funciones y responsabilidades entre los distintos profesionales (técnicos, electricistas, fontaneros) y los clientes.

23.2 Inspección del emplazamiento y evaluación ambiental

- Comprobaciones dimensionales: Verifique el espacio disponible para la colocación de la unidad y las distancias de seguridad requeridas por el fabricante para el mantenimiento.
- Vías de acceso: Evaluar la anchura de las puertas, la capacidad de los ascensores y el posible acceso de grúas para las unidades de azotea.
- Perfil acústico: Evaluar las distancias a las zonas sensibles al ruido (dormitorios, oficinas) para garantizar el cumplimiento de las ordenanzas locales sobre ruido.
- Mapeo de servicios: Documentar la ubicación de los cuadros de distribución eléctrica y los sistemas de drenaje existentes.

23.3 Diseño del sistema de gestión de condensados y agua

- Objetivos de drenaje: Garantizar la evacuación continua y sin obstrucciones del agua procedente de los ciclos de descongelación (exteriores) o de deshumidificación (interiores).
- Unidades exteriores: En climas fríos, los desagües requieren protección contra la congelación (aislamiento, calefacción de traza o sumideros).
- Trampas de condensado (sifones): Imprescindibles para las unidades interiores a fin de evitar la infiltración de aire y los olores del alcantarillado.



23.4 Planificación de recursos y herramientas

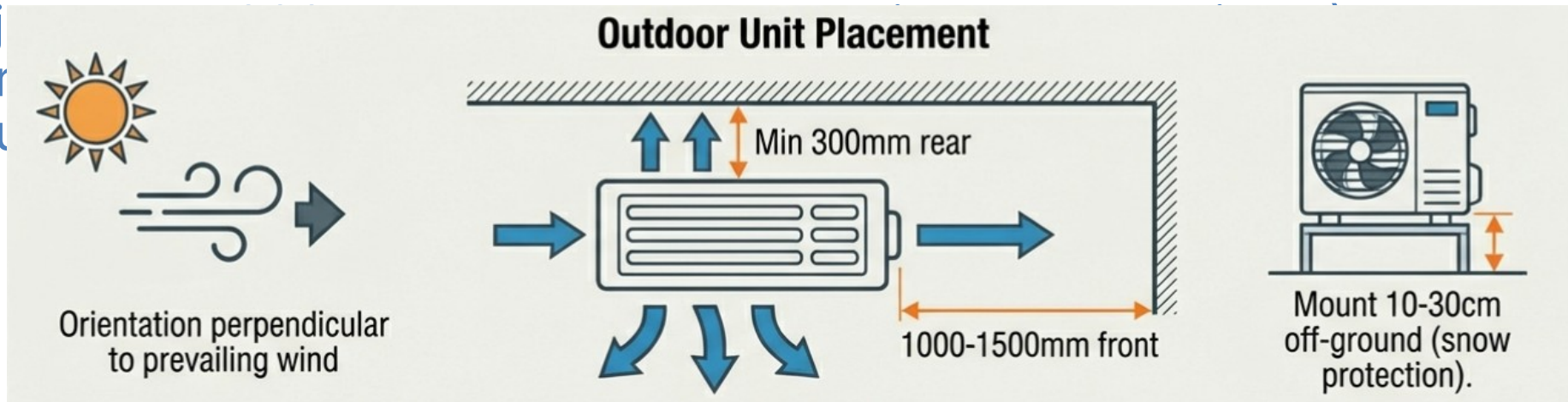
- Secuencia de tareas: Asegúrese de que los preparativos estructurales y eléctricos estén terminados antes de la instalación física del equipo.
- Herramientas manuales generales: Cortatubos, destornilladores y llaves para el montaje mecánico.
- Herramientas especializadas para sistemas de climatización: Bombas de vacío, manómetros múltiples, detectores electrónicos de fugas y básculas de carga.
- Equipo de elevación: Es posible que se necesiten grúas o carretillas elevadoras para unidades que a menudo superan los 100 kg.

LECCIÓN 24

Instalación de unidades interiores y exteriores

24.1 Requisitos de ubicación y flujo de aire

- Prioridad operativa: Las unidades interiores deben garantizar una distribución uniforme del aire sin corrientes directas sobre los ocupantes.
- Riesgo de recirculación de aire: Un espacio libre insuficiente (por ej. pr qu

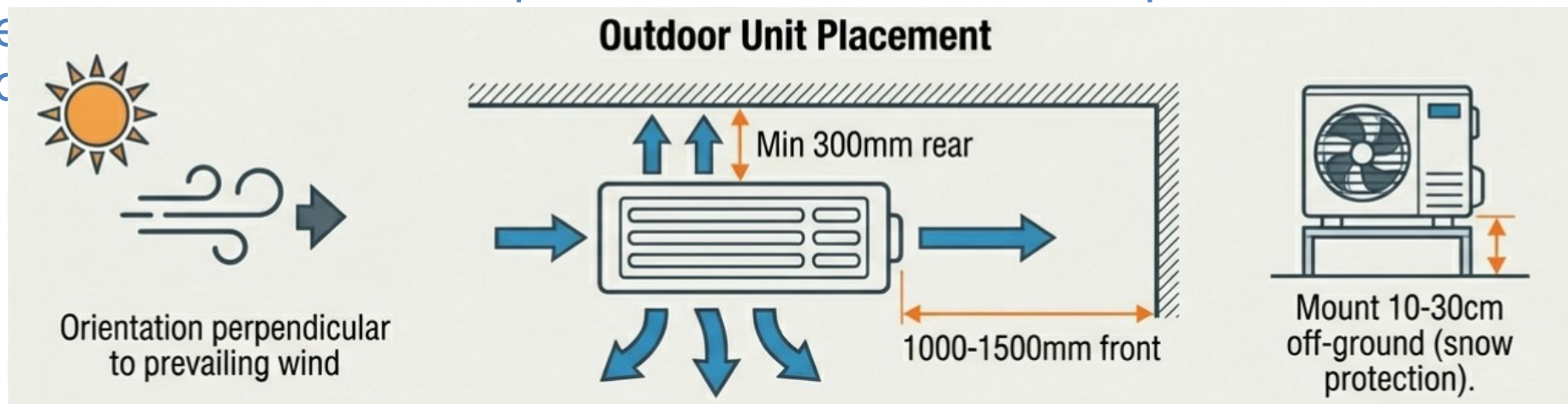


Co-funded by
the European Union



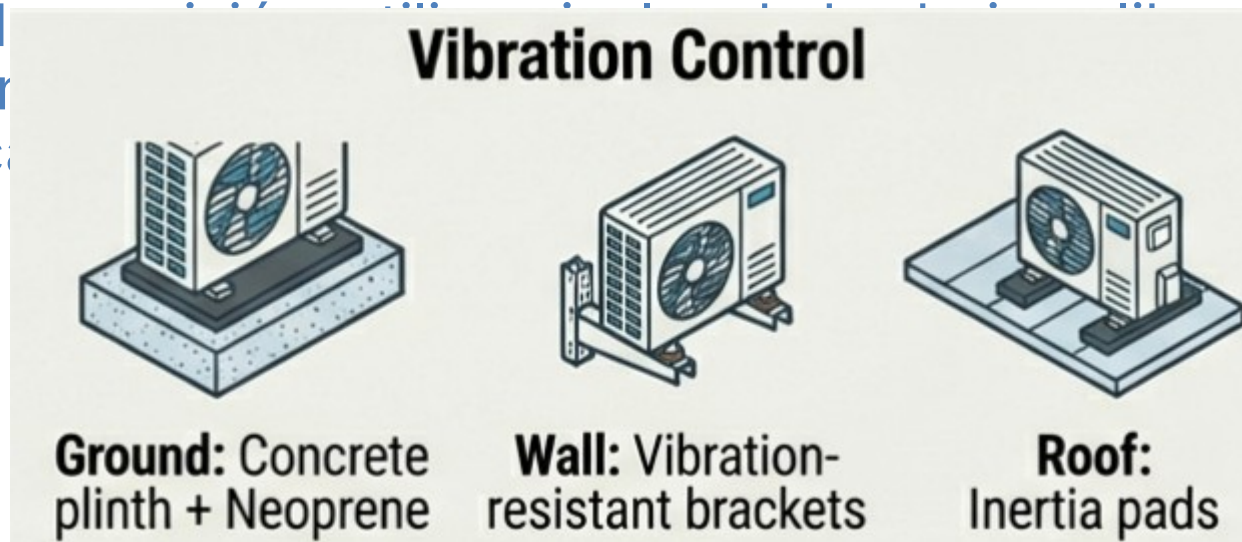
24.1 Requisitos de ubicación y flujo de aire

- Riesgo de recirculación de aire: Un espacio libre insuficiente (por ejemplo, <1000 mm delante de los ventiladores exteriores) puede provocar que el aire expulsado vuelva a entrar por la toma de aire, lo que reduce el COP.
- Protección: Evite los espacios cerrados donde se produzca estancamiento de



24.2 Fijación estructural y nivelación

- Instalación en suelo: Las unidades deben apoyarse sobre zócalos de hormigón con aislamiento antivibratorio o bases de acero, ancladas contra cargas eólicas y sísmicas.
- Montaje en pared/techo: Los soportes deben fijarse a elementos estructurales; en los tejados se requieren dispositivos antivibración y antivuelco.
- Nivelación de la unidad: Se deben utilizar dispositivos de nivelación y patas ajustables; inyección de espuma para evitar la tensión mecánica y evitar provocar ruido,



24.3 Aislamiento contra vibraciones y ruido

- Métodos de desacoplamiento: utilice almohadillas antivibración, soportes con muelles o aislantes de neopreno para impedir la transmisión del ruido estructural.
- Características específicas de la unidad interior: Se requieren soportes acolchados o insertos insonorizantes para las unidades situadas cerca de espacios tranquilos, como dormitorios.
- Unidades de cassette: utilice soportes con muelles o aislados con goma para reducir la transmisión del ruido del techo.

Indoor Unit Nuances



- **Cassette:** 250-350mm ceiling void required.

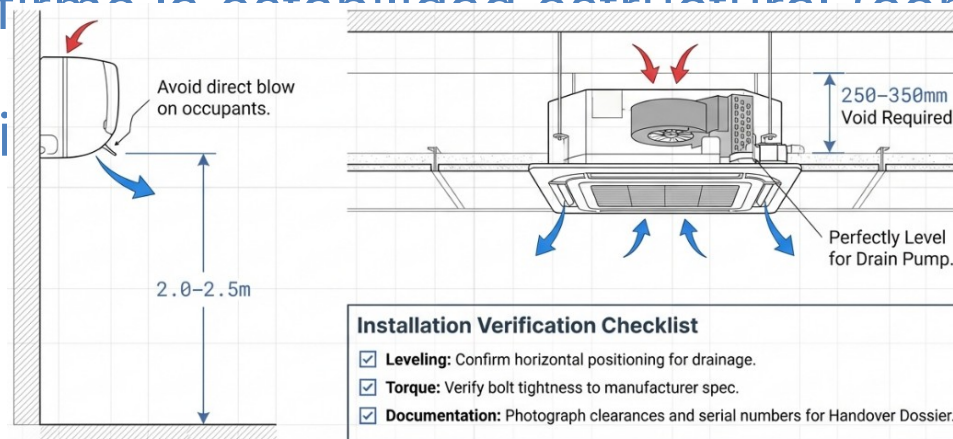


- **Wall Mount:** 2.0-2.5m height for air throw.

24.4 Accesibilidad para el mantenimiento y verificación

- Acceso al filtro: Asegúrese de que haya un espacio libre de al menos 100-150 mm para facilitar la extracción del filtro sin necesidad de desmontar estructuras.
- Acceso a los componentes: Los ventiladores, los bloques de terminales eléctricos y las conexiones de refrigerante deben ser fácilmente accesibles para su inspección.
- Verificación: Confirme la estabilidad estructural / comprobaciones del par de apriete de clave (holguras, fi

nte las etapas



LECCIÓN 25

Conexiones de las tuberías de refrigerante



Co-funded by
the European Union



25.1 Normas para la selección y preparación de tuberías

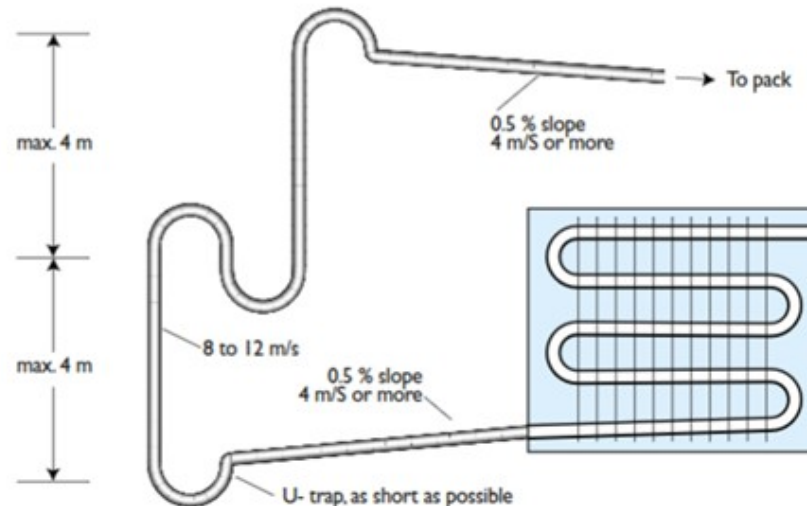
- Material: Cobre para refrigeración (EN 12735-1) por su limpieza, resistencia mecánica y resistencia a la corrosión.
- Preparación: Las tuberías deben cortarse con un cortador especializado (nunca con una sierra para metales) y desbarbarse a fondo para evitar turbulencias en el flujo.
- Limpieza: Almacenar con tapones en los extremos; la contaminación interna por humedad o partículas provoca fallos prematuros.

25.2 Cálculos de aislamiento y dimensionamiento

- Dimensionamiento (EN 378): El espesor mínimo de la pared debe soportar la presión de servicio máxima admisible (calculada mediante fórmula).
- Tipo de aislamiento: Espuma elastomérica (caucho nitrílico) con un espesor de 13 mm a 32 mm, dependiendo del diámetro.
- Factores ambientales: El aislamiento evita la pérdida de energía y la condensación; el espesor debe mantener la temperatura de la superficie por encima del punto de rocío.

25.3 Instalación y gestión del aceite

- Trazado: Las tuberías de aspiración deben tener una pendiente del 1-2 % hacia el compresor para facilitar el retorno del aceite.
- Trampas de aceite: Obligatorias en las tuberías de succión cada 4-6 metros de altura vertical.
- Expansión: Los soportes deben incorporar insertos de goma para permitir la expansión los largos.

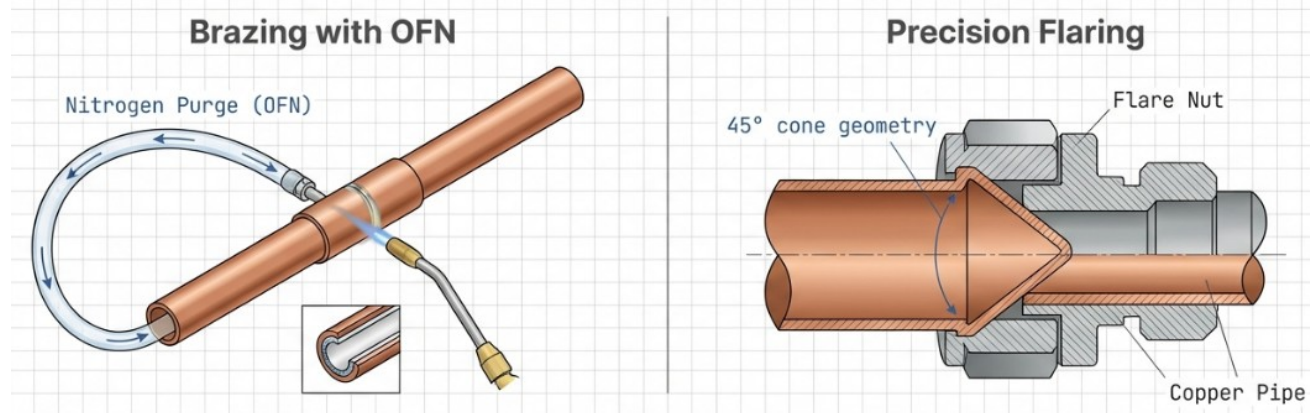


Co-funded by
the European Union



25.4 Soldadura fuerte, abocardado y pruebas de estanqueidad

- Soldadura fuerte: Calentar a más de 450 °C con varillas a base de plata; es obligatorio realizar una purga con nitrógeno seco para evitar la oxidación interna.
- Abocardado: Utilizar herramientas excéntricas de alta calidad para formar una forma cónica de 45° para los sellos mecánicos.
- Prueba de presión con nitrógeno: Presurizar a 1,1-1,3 veces la presión máxima de trabajo (normalmente 40-55 bar para D410A) durante 24 horas.



LECCIÓN 26

Conexiones hidráulicas



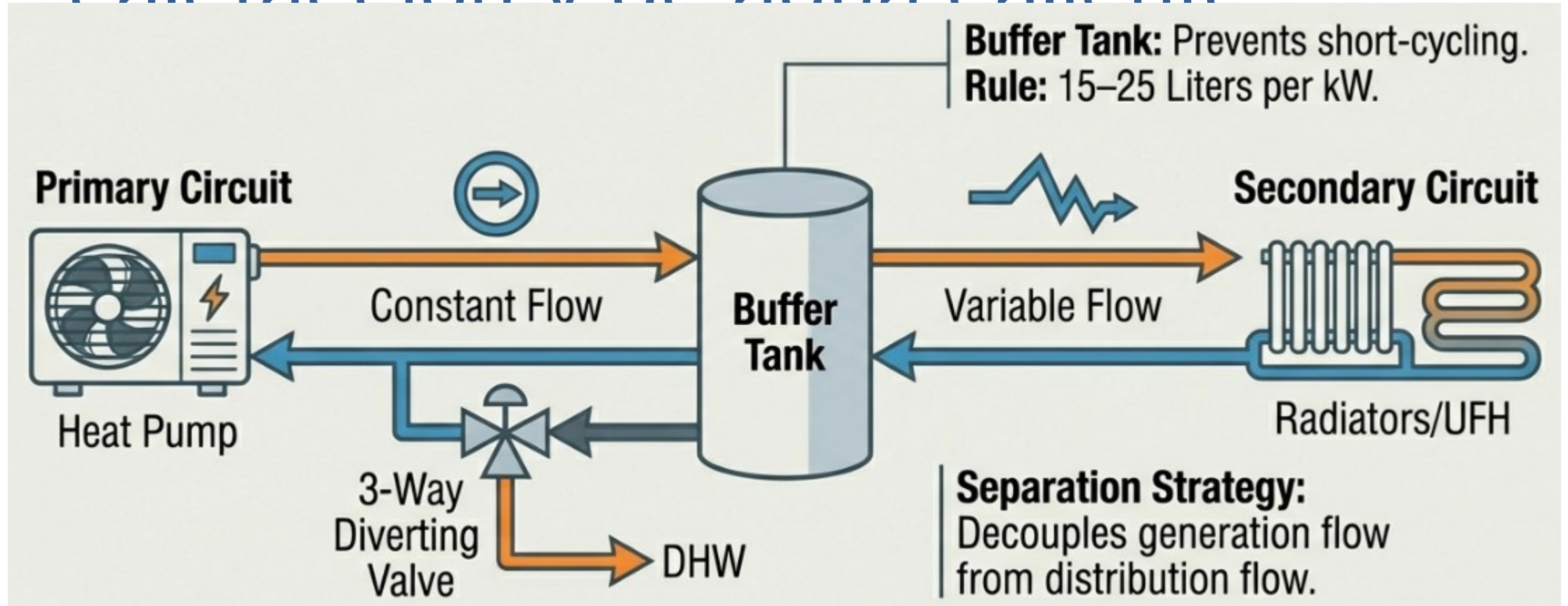
Co-funded by
the European Union



26.1 Integración de los circuitos de calefacción y de agua caliente sanitaria

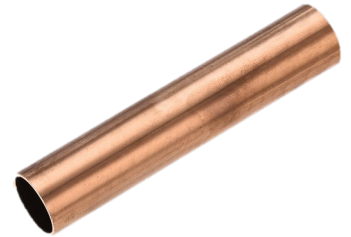
- Tipos de emisores: Los radiadores (normalmente a 45-55 °C) requieren un equilibrado cuidadoso; la calefacción por suelo radiante (CSR) es muy compatible debido a las bajas temperaturas (30-45 °C).
- Separación hidráulica: utilice un depósito de inercia o un colector de bajas pérdidas para desacoplar los circuitos primario (fuente) y secundario (distribución).
- Dimensionamiento del depósito de inercia: Se recomiendan entre 15 y 25 litros por kW para evitar ciclos cortos del compresor.

26.1 Integración de los circuitos de calefacción y de agua caliente



26.2 Materiales y métodos de unión

- Cobre: Ideal por su alta conductividad térmica y su resistencia mecánica en tramos a alta temperatura.
- Multicapa (PEX-AL-PEX): Flexible y resistente a la corrosión; ideal para la distribución interna y la calefacción por suelo radiante.
- PPR: Ligero, higiénico y unido mediante fusión térmica (sin riesgo de fugas), pero presenta una mayor expansión térmica.



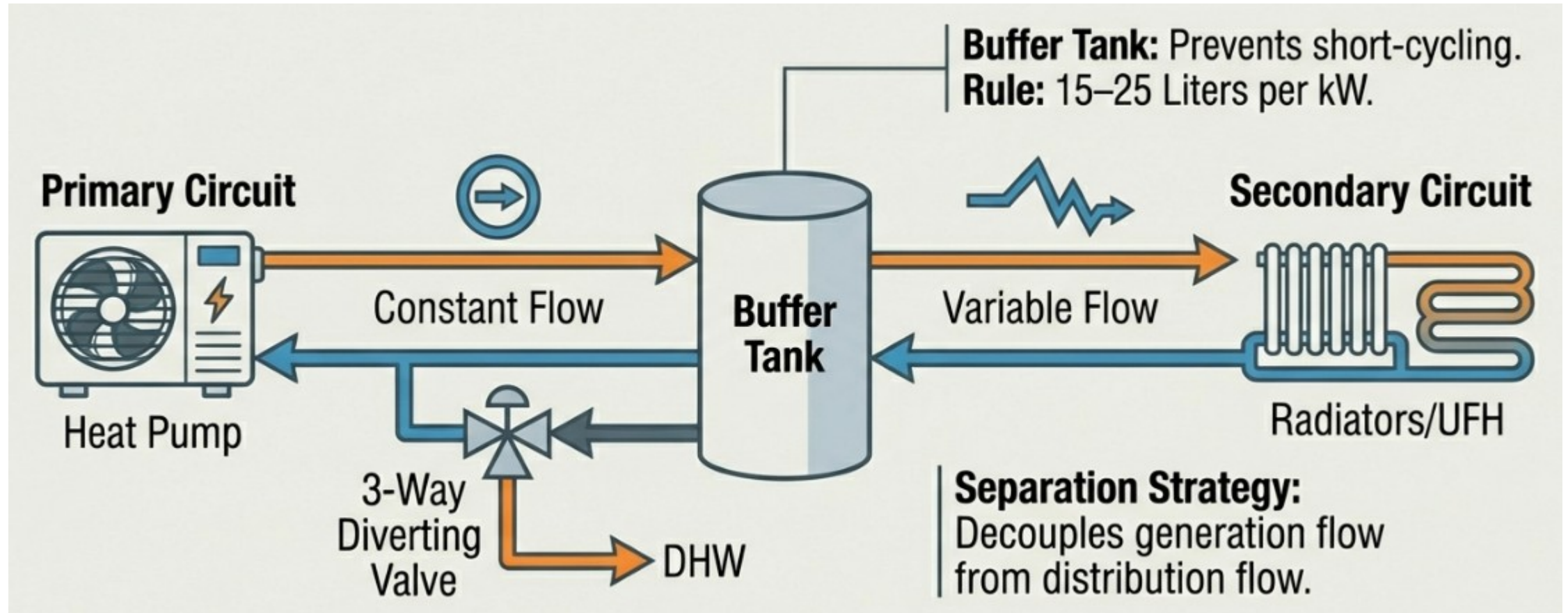
Co-funded by
the European Union



26.3 Bombas, válvulas y vasos de expansión

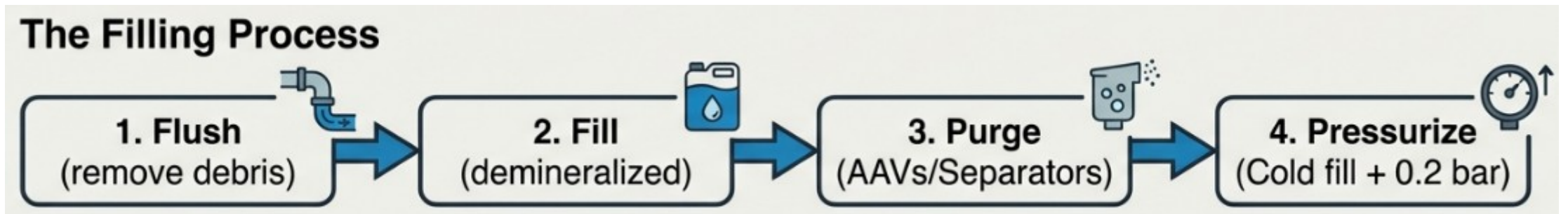
- Bombas de velocidad variable (ECM): Recomendadas para adaptarse a los cambios de zonificación y reducir el consumo eléctrico.
- Válvulas críticas:
 - Válvulas de derivación: válvulas motorizadas de 3 vías para alternar entre la calefacción de espacios y la prioridad de agua caliente sanitaria.
 - Válvulas de retención: Evitan la circulación inversa y los efectos de termosifón.
- Depósitos de expansión: Dimensionados en función del volumen total del sistema y del coeficiente de expansión del agua (p. ej., 1,8 % para 10→60 °C).

26.3 Bombas, válvulas y vasos de



26.4 Llenado, purga y verificación

- Secuencia: Llene lentamente desde el punto más bajo; abra las válvulas de derivación/zona una por una.
- Eliminación de aire: utilice purgadores automáticos (AAV) en los puntos altos y separadores de aire de microburbujas en la parte más caliente del flujo.

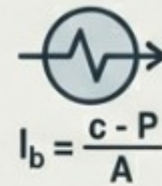


LECCIÓN 27

Conexiones eléctricas y control

27.1 Fuente de alimentación y dimensionamiento de los conductores

- Corriente de diseño (I_b): basada en la corriente máxima de funcionamiento; se deben aplicar factores de corrección para la temperatura ambiente (C_a) y la agrupación (C_g).
- Caída de tensión: No debe superar el 5 % entre el origen y los terminales del aparato para proteger los componentes electrónicos sensibles.
- Normas: Es obligatorio el cumplimiento de los códigos eléctricos locales (p. ej., BS



$$I_b = \frac{C - P}{A}$$

Design Current (I_b):
Based on input power
& COP.



Cable Sizing:
Ambient Temp (C_a) &
Grouping (C_g) factors.



Verify Voltage Drop < 5%.

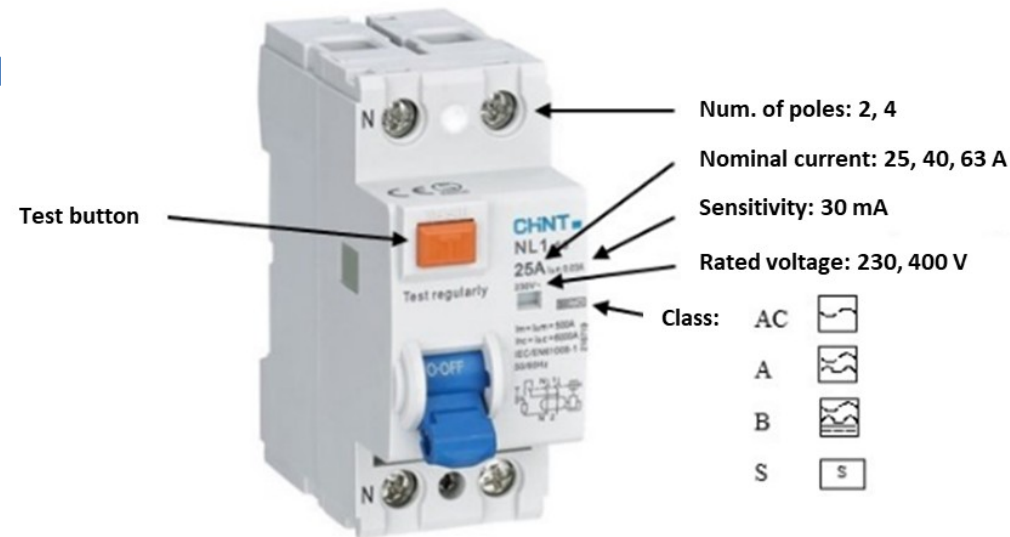


Co-funded by
the European Union



27.2 Dispositivos de protección y aislamiento

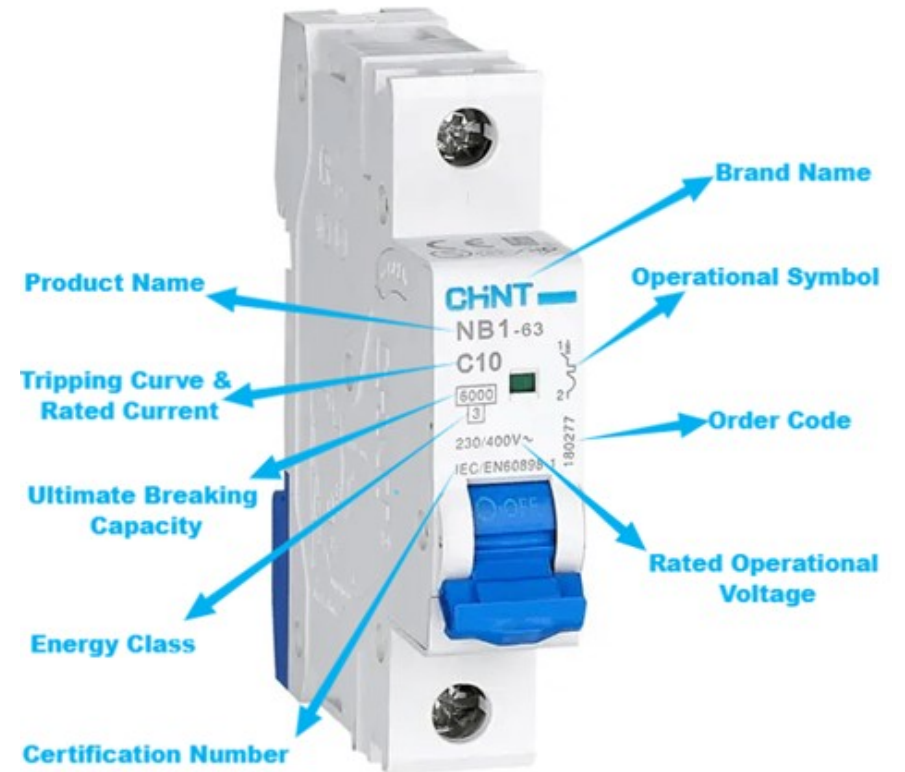
- Sobrecorriente (MCB): El tipo C es el estándar para cargas de motor, ya que soporta corrientes de arranque.
- Tipos de RCD: Las unidades accionadas por inversor requieren RCD de tipo F o tipo B para detectar fugas complejas de CC/alta frecuencia.
- Aislamiento: Se requiere un dispositivo resistente a la intemperie para la protección exterior.



erradura (LOTO)
idad exterior.

27.2 Dispositivos de protección y aislamiento

- Sobrecorriente (MCB): El tipo C es el estándar para cargas de motor, ya que soporta corrientes de arranque.
- Tipos de RCD: Las unidades accionadas por inversor requieren RCD de tipo F o tipo B para detectar fugas complejas de CC/alta frecuencia.
- Aislamiento: Se requiere un seccionador local con cerradura (LOTO) resistente a la intemperie y situado a la vista de la unidad exterior.



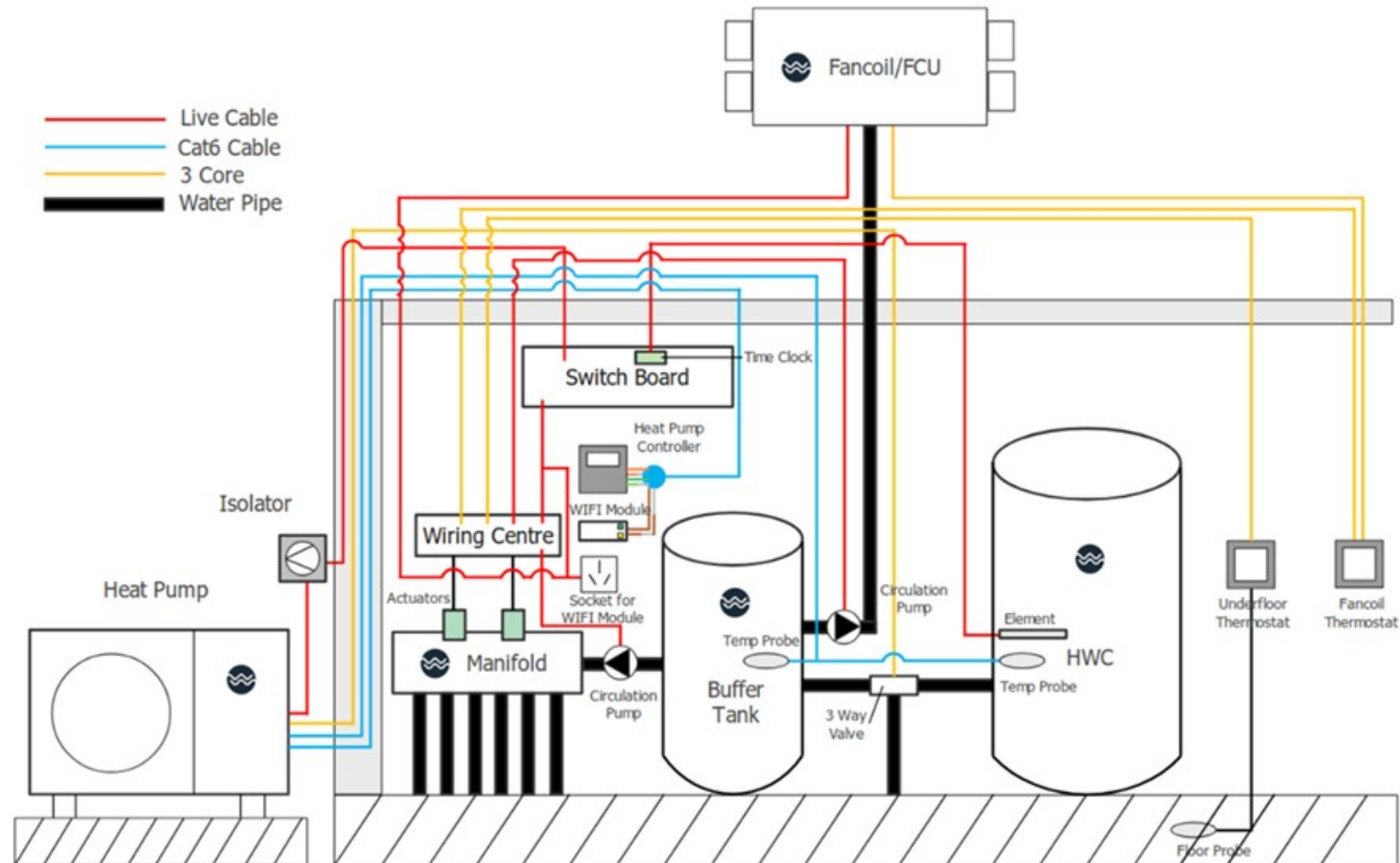
Co-funded by
the European Union



27.3 Cableado de control y señales

- Tipos de señales: conmutación de 230 V para termostatos simples; 0-10 V o PWM para bombas moduladoras; Modbus/BACnet para buses digitales.
- Infraestructura: Las señales sensibles deben utilizar cable apantallado de par trenzado para evitar interferencias electromagnéticas (EMI).
- Separación: Mantenga los cables de alimentación (230/400 V) separados de los cables SELV para evitar el ruido inducido.

27.3 Cableado de control y señales



27.4 Pruebas previas a la puesta en tensión y pruebas en tensión

- Pruebas sin tensión: Continuidad de la toma de tierra de protección (PE) ($<0,05 \Omega$) y resistencia de aislamiento (IR) a 500 V CC.
- Seguridad crítica: Desconecte todas las placas electrónicas antes de realizar las pruebas de IR para evitar daños irreversibles.
- Pruebas en tensión: Medir la tensión bajo carga; verificar la plausibilidad del sensor y el accionamiento de la válvula de 3 vías.

LECCIÓN 28

Herramientas y equipos de medición



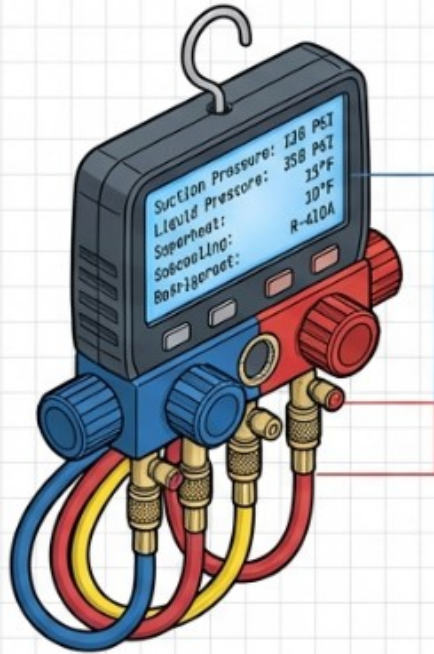
Co-funded by
the European Union



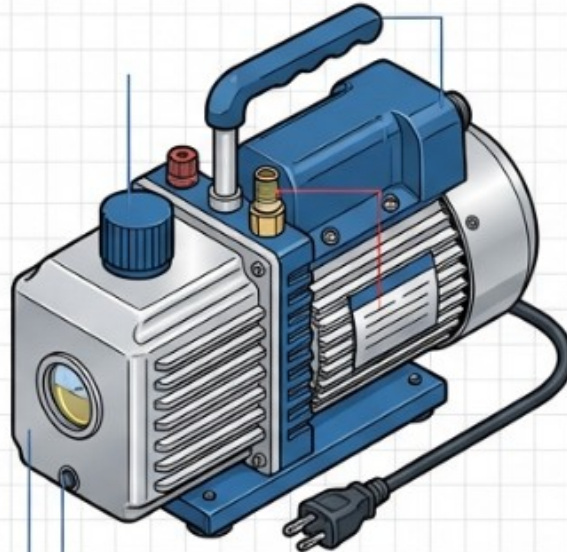
28.1 Herramientas para el mantenimiento de sistemas de refrigeración

- Manómetros digitales: proporcionan una correlación instantánea entre temperatura y presión para R410A/R32/R290.
- Mangueras: utilice mangueras de baja permeabilidad con válvulas de bola para evitar la entrada de humedad.
- Extracción del núcleo de la válvula: fundamental para aumentar la conductancia durante la evacuación y la carga.

28.1 Herramientas para el mantenimiento de sistemas de



Digital Manifold: Instant Superheat/Subcooling calculation.



2-Stage Vacuum Pump.



Micron Gauge: Verify deep vacuum (<500 microns) for moisture removal.



Charging Scale: Mandatory for F-Gas compliance (Weigh-in Charge).



Co-funded by
the European Union

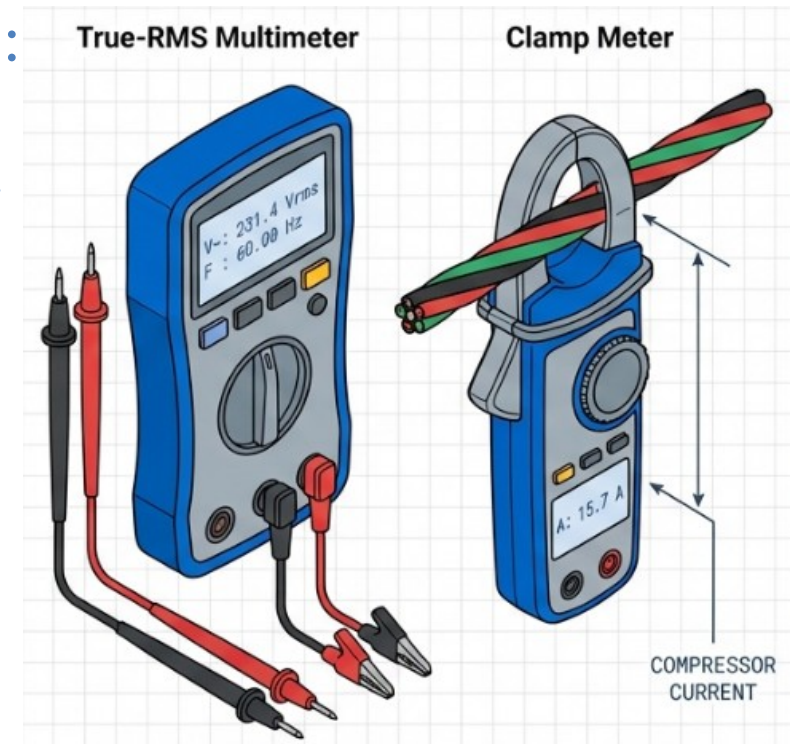
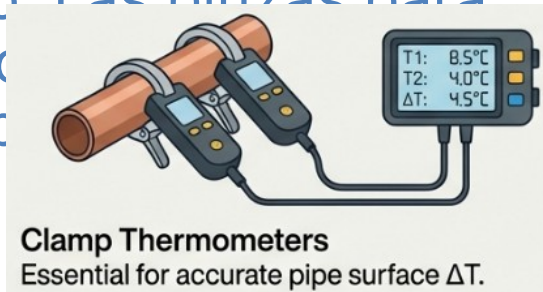


28.2 Bomba de vacío y deshidratación

- Bomba de dos etapas: necesaria para eliminar la humedad atrapada bajo vacío profundo.
- Manómetro electrónico de micras: única herramienta capaz de verificar el objetivo de ≤ 500 micras.
- Prueba de decaimiento: Aísle la bomba para distinguir entre desgasificación (humedad) y fugas atmosféricas.

28.3 Mediciones eléctricas y térmicas

- Medidores de valor eficaz verdadero (True-RMS): necesarios para obtener lecturas precisas en formas de onda distorsionadas de los inversores.
- Pinzas amperimétricas: Se utilizan para comprobaciones de corriente no intrusivas en compresores y ventiladores.
- Termómetros de contacto: Las pinzas para tuberías son las más adecuadas para detectar sobrecalentamiento y subrefrigeración (pasta + aislamiento).



28.4 Calibración y mantenimiento

- Calibración formal: Calibración anual trazable de colectores, balanzas y detectores de fugas.
- Comprobaciones sobre el terreno: Realizar comprobaciones del punto de congelación (0 °C) en los termómetros y utilizar pesas de referencia para las básculas.
- Mantenimiento del equipo: Cambiar el aceite de la bomba de vacío después de cada evacuación profunda para mantener el rendimiento.

LECCIÓN 29

Puesta en servicio de bombas de calor



Co-funded by
the European Union

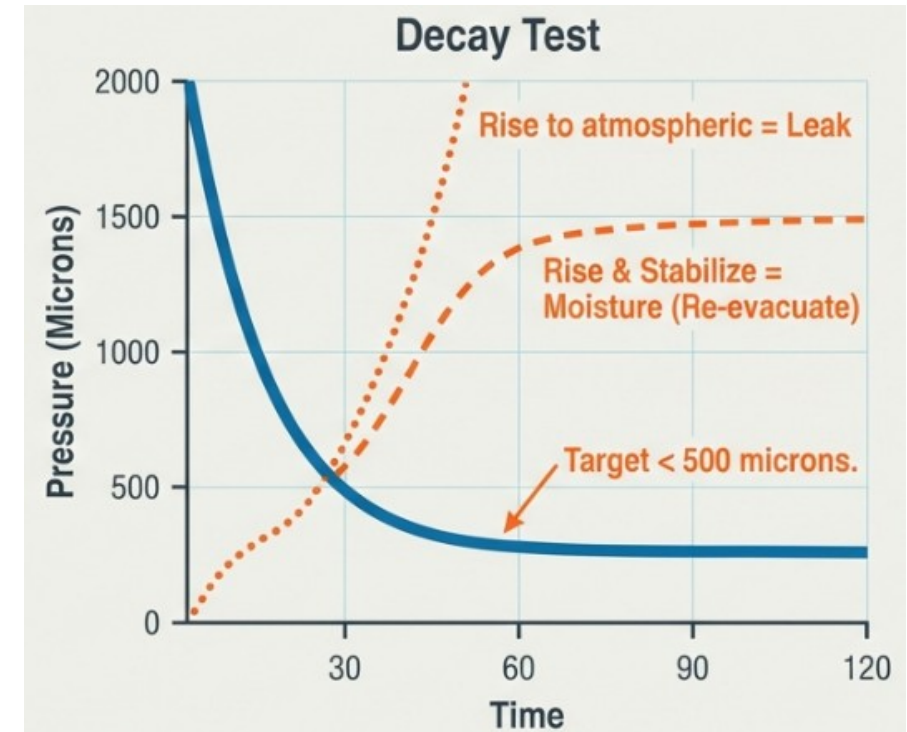


29.1 Lista de comprobación final previa a la puesta en servicio

- Integridad del sistema: Realice una inspección a pie de planta para confirmar que los soportes están bien fijados y que el aislamiento es continuo.
- Preparación hidráulica: Confirme la presión de llenado (normalmente 1,5 bar) y que se haya purgado todo el aire.
- Seguridad eléctrica: Compruebe que todas las conexiones estén bien apretadas y que todas las tapas estén bien fijadas.

29.2 Puesta en servicio del circuito de refrigerante

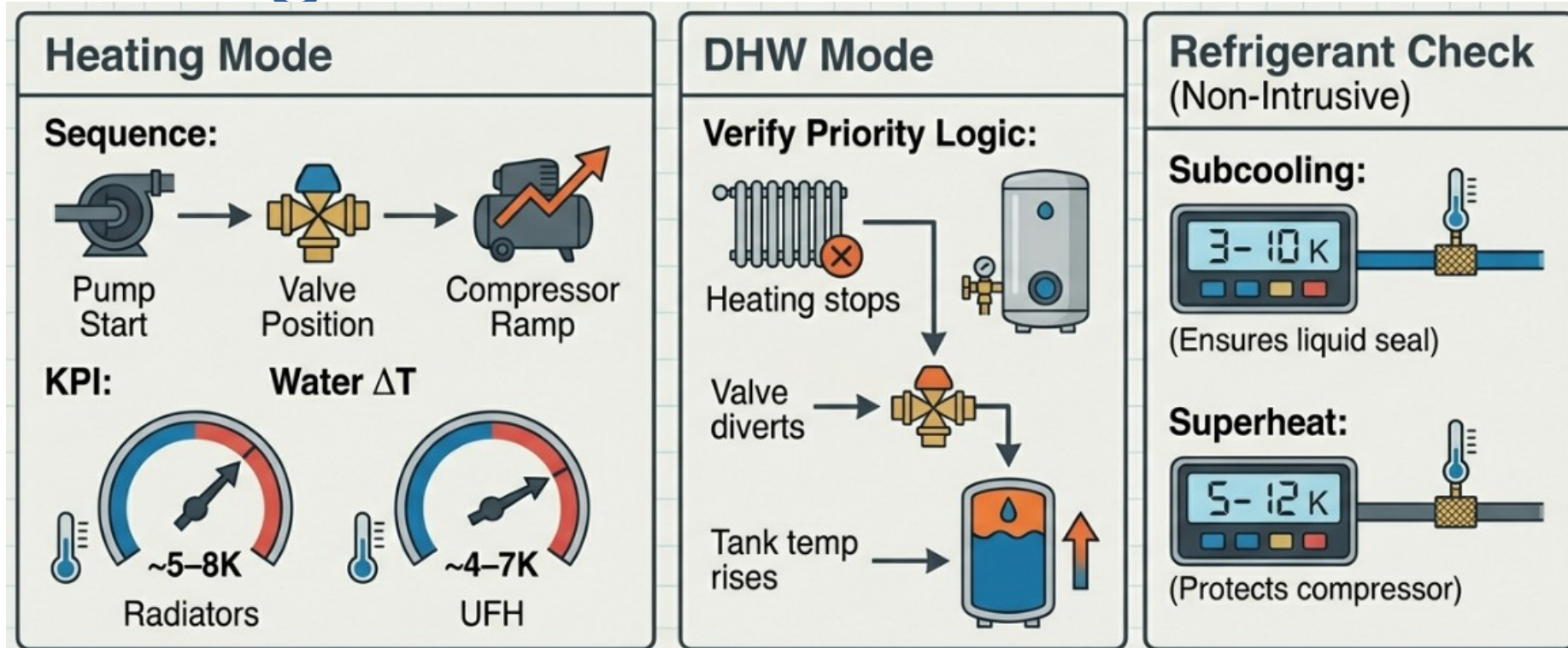
- Objetivo de evacuación: vacío estabilizado ≤ 500 micras con una prueba de subida (caída) que se establezca < 1000 micras.
- Carga por peso: utilice una báscula calibrada para añadir la carga base más los ajustes por longitud de línea.
- KPI de aceptación: Supervise el subenfriamiento ($\sim 3-10$ K) y el sobrecalentamiento ($\sim 5-12$ K) bajo carga constante.



Co-funded by
the European Union



29.2 Puesta en servicio del circuito de refrigerante



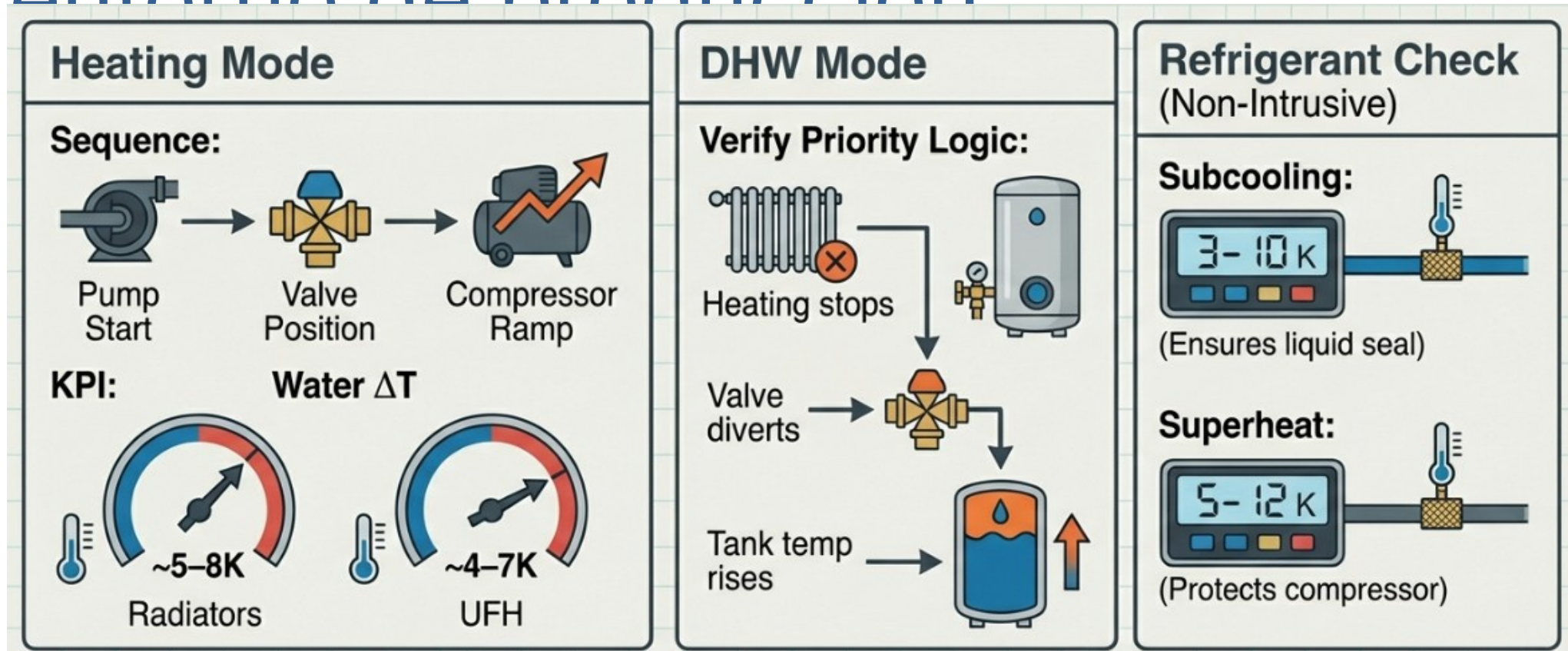
29.3 Configuración del controlador

- Configuración básica: Seleccionar el idioma, la fecha, la hora y el esquema hidráulico (solo calefacción frente a calefacción + agua caliente sanitaria).
- Curva de funcionamiento: Adapte la curva de compensación climática a los emisores y al aislamiento del edificio.
- Ajustes de agua caliente sanitaria: Configure los puntos de consigna (50-55 °C) y el ciclo periódico antilegionela.

29.4 Pruebas funcionales en condiciones reales

- Modos: Prueba de calefacción (verificar ΔT 5-8 °C), prioridad de ACS (confirmar la carrera de la válvula) y descongelación (verificar el espacio libre del serpentín).
- Comprobación de seguridad: Simular fallos de bajo caudal para confirmar que el controlador se apaga y registra la alarma.
- Entrega al cliente: Impartir una formación práctica sobre los ajustes de confort y las responsabilidades del usuario.

29.4 Pruebas funcionales en entorno de producción



LECCIÓN 30

Mantenimiento preventivo y correctivo de las bombas de calor



Co-funded by
the European Union



30.1 Evolución de los KPI y comparación con los valores de referencia

- Estrategia de régimen: Comparar el rendimiento actual con la referencia original de puesta en servicio para identificar desviaciones.
- Seguimiento de los KPI: supervisar la diferencia de temperatura (ΔT) entre los emisores, la caída de presión hidráulica (ΔP) y la corriente a frecuencias específicas.
- Intervalos: Comprobaciones trimestrales del estado de funcionamiento; comprobaciones anuales de la fiabilidad de los sensores y de los ajustes de protección.

30.2 Procedimientos de limpieza

- Serpentes exteriores: Utilice agua a baja presión (nunca hidrolimpiadoras) de dentro hacia fuera; utilice productos químicos de pH neutro.
- Estado del sistema hidráulico: Aísle y limpie los filtros en Y y los separadores magnéticos para eliminar los sedimentos y la magnetita.
- Filtros de aire: Sustituya los filtros G4 desechables o lave los filtros de malla; limpie las aspas del ventilador para evitar desequilibrios.

30.3 Integridad mecánica y acústica

- Inspección física: Compruebe si el aislamiento externo presenta daños por rayos UV y si los soportes antivibratorios están comprimidos.
- Diagnóstico del ruido: Distinguir entre ruido aéreo (ventilador/carcasa) y vibración transmitida por la estructura (fijación rígida de la tubería).
- Soluciones: Vuelva a nivelar las unidades, renueve las almohadillas de elastómero o ajuste el Δp de la bomba para evitar la resonancia.

30.4 Diagnóstico de averías y sustitución

- Procedimiento: Comprobar la alimentación → Comprobar la demanda → Comprobar los dispositivos de seguridad → Consultar los registros del controlador.
- Fallos habituales: desconexiones de alta presión (caudal hidráulico insuficiente), desconexiones de baja presión (fuga de refrigerante) y errores de comunicación.
- Puesta en servicio: Tras la sustitución de un componente (p. ej., bomba, sensor), realice una prueba específica de esa función concreta.

30.4 Diagnóstico de averías y sustitución

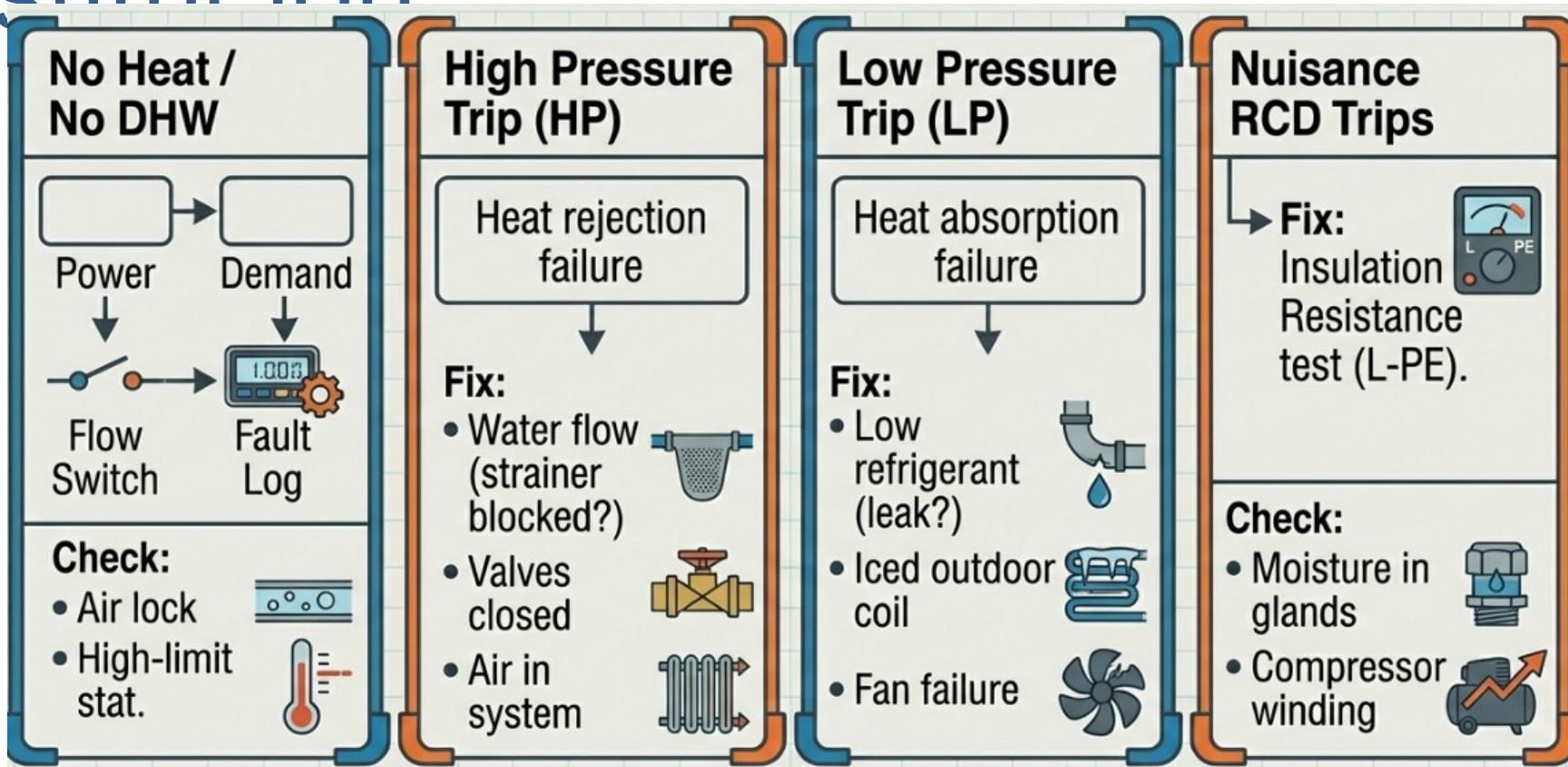
Traffic Light System		
 Pass	 Action	 Critical
ΔT within range. Strainer $\Delta P < 5\text{kPa}$. COP stable. 	ΔT widening (fouling?). Defrosts every <45 min. Action: Clean coils/filters. 	Compressor current $>15\%$ baseline. HP/LP trips. Action: Immediate diagnostics. 
Cleaning Regimen		
• Air Side: Chemical clean coils, balance fans.  • Water Side: Flush sludge from Strainers & Magnetic Filters. 		



Co-funded by
the European Union



30.4 Diagnóstico de averías y sustitución



Co-funded by
the European Union



LECCIÓN 31

Seguridad en la instalación y el mantenimiento

31.1 Riesgos eléctricos y de presión

- Carga residual: Los condensadores del inversor pueden almacenar cargas de corriente continua letales ($> 600\text{ V}$) incluso después de desconectar la alimentación.
- Riesgos de presión: Las presiones estáticas pueden superar los 15 bar; las presiones de funcionamiento alcanzan más de 40 bar; el líquido que se escapa provoca congelación.
- Toxicidad/inflamabilidad del refrigerante: Riesgo de asfixia en espacios confinados; inflamabilidad para A2L (R32) y A3 (R290).

31.2 Aislamiento seguro y manipulación manual

- Procedimiento LOTO: bloqueo, etiquetado y comprobación (verificación de ausencia de tensión) utilizando un dispositivo de tensión bipolar.
- Manipulación manual: Las unidades exteriores suelen superar los 100 kg; utilice técnicas cinéticas o ayudas mecánicas (carros, eslingas).
- Seguridad con el nitrógeno: utilice siempre un regulador de presión de dos etapas para las pruebas



1. Lockout



2. Tagout



3. Tryout (Proof of Dead)



Co-funded by
the European Union



31.3 EPI y protocolos para trabajos en caliente

- Equipo de protección: guantes criogénicos para refrigerantes; guantes con clasificación de 1000 V para comprobaciones con tensión; guantes de nitrilo para aceite POE.
- Trabajos en caliente (soldadura fuerte): Eliminar todas las fuentes de ignición; utilizar mantas ignífugas; periodo obligatorio de vigilancia contra incendios (30-60 min) tras finalizar el trabajo.

31.4 Protocolos de respuesta ante emergencias

- Descarga eléctrica: Rompa el contacto de forma segura (con un objeto no conductor); siga el procedimiento DRSABC llame a los servicios de emergencia.
- Fuga de refrigerante: Evacúe y ventile la zona inmediatamente; elimine todas las fuentes de ignición.
- Salpicadura de productos químicos: Enjuague los ojos o la piel con agua limpia durante al menos 15 minutos y consulte la ficha de datos de seguridad (FDS).

Emergency Protocol	
	Electric Shock: Break contact (do not touch casualty). CPR.
	Leak: Evacuate and Ventilate.
	Fire: Use CO2/Dry Powder (Class E/C). Never use water.



Co-funded by
the European Union

