

Módulo 3.2: Aprovechamiento del calor residual y bombas de calor

SHaKE – Intercambio de calor y conocimientos sobre comunidades energéticas

Erasmus+ KA220-HED: Asociaciones de cooperación en la educación superior

Instituciones promotoras: Universitat Jaume I de Castellón y Universidad de Tecnología y Economía de Budapest

Autores: Ghad Alarnaout-Alarnaout, Dr. Adrián Mota-Babiloni, Dr. Balázs Bokor

Fecha: mayo de 2026 Versión 1.1

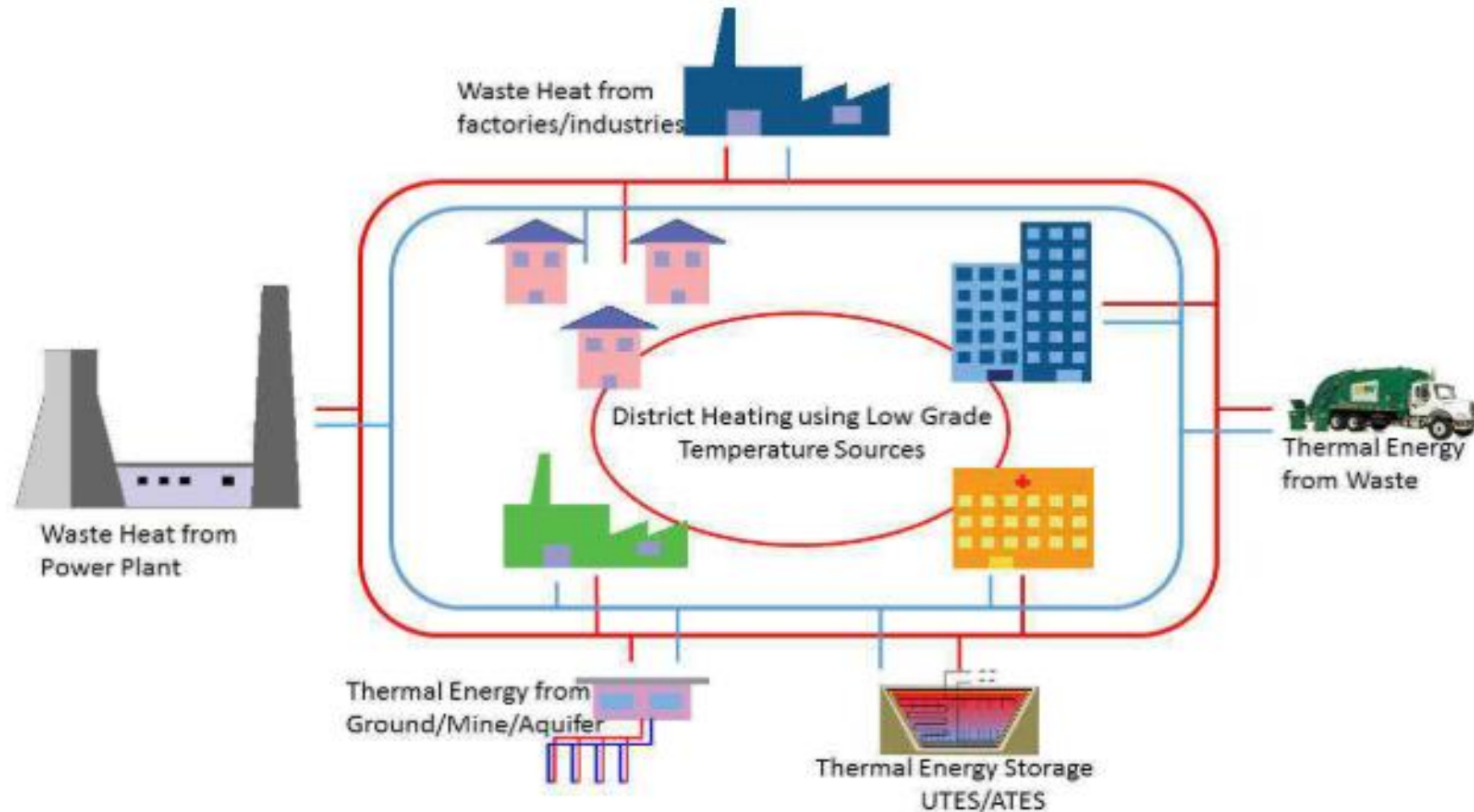


SHaKE

Sharing Knowledge on Energy Communities



1.1. ANTECEDENTES Y CLASIFICACIÓN DEL CALOR RESIDUAL



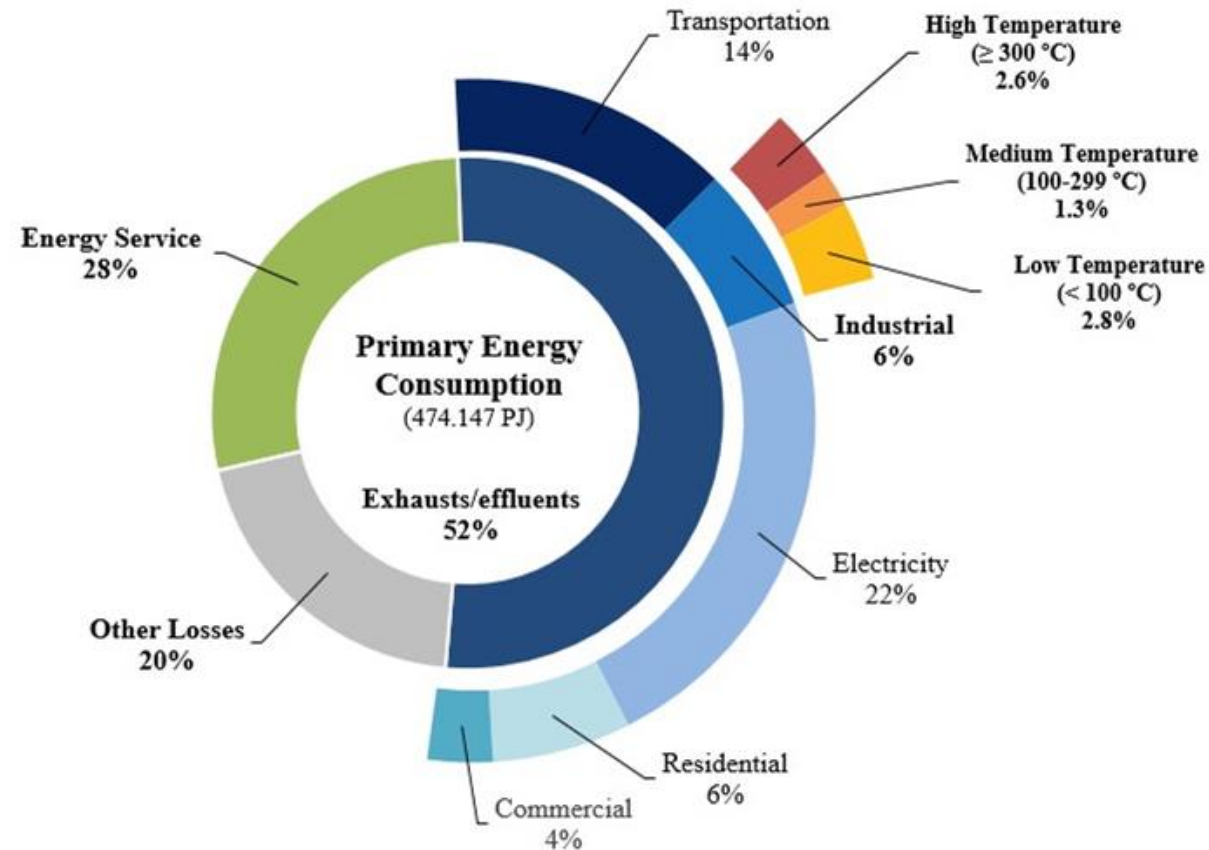
Niessink, R. J. M. (2024, 6 de noviembre). Redes de calor para hogares a baja temperatura (calefacción urbana). Energy.nl. <https://energy.nl/data/heat-networks-low-temperature-households-district-heating/>

1.1. ANTECEDENTES Y CLASIFICACIÓN DEL CALOR RESIDUAL

En la fuente de la diapositiva se puede encontrar una clasificación más detallada basada en los rangos de temperatura:

Ultra-low-grade ($T_{amb}-60$)	Low-grade (60-100 °C)	Medium-grade (100-400 °C)	High-grade (>400 °C)
• Data centers • Energy storage system • HVAC facility • Waste water sewage • Geothermal • Biologic descomposition • Solar thermal	• Internal combustion engine (jacket coolant) • Industrial process stream (manufacturing) • Hidrothermal • Anaerobic digestion	• Internal combustion engine (exhaust gas) • Power plant exhaustIndustrial process stream (chemical & food) • Geothermal (volcanic areas) • Fermentation processes	• Industrial process stream (iron & steel) • Power plant exhaust (gas turbine) • Inceneration processes

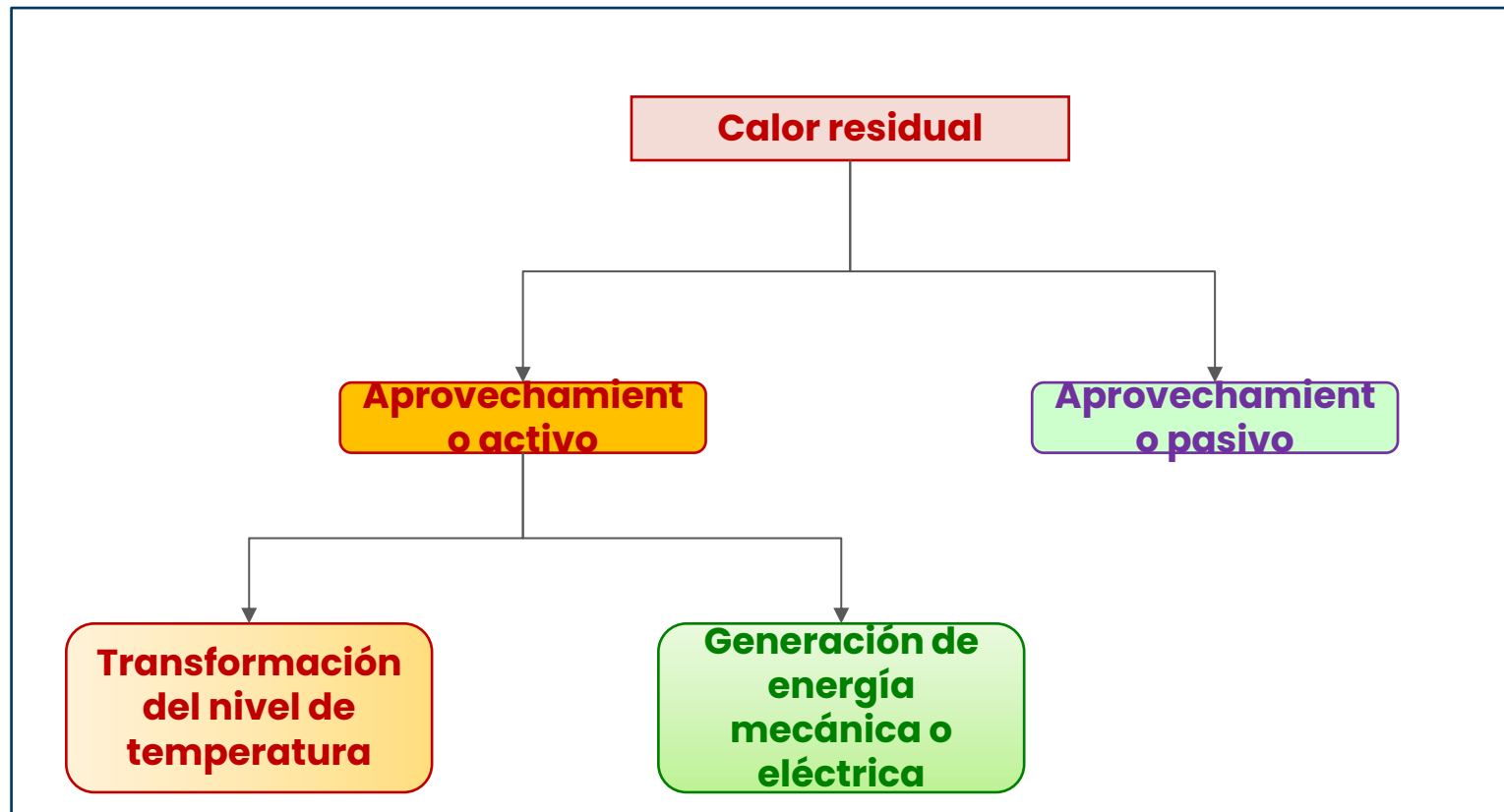
1.1. CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE CALOR RESIDUAL



Forman, C., Muritala, I. K., Pardemann, R. y Meyer, B. (2016). Estimación del potencial mundial de calor residual. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 1568-1579. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.192>

1.2. TECNOLOGÍAS PARA LA CAPTURA Y APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL

El calor residual puede utilizarse directamente, mediante un sistema pasivo (simplemente utilizando un intercambiador de calor), o transformarse mediante tecnologías activas (modificando el nivel de temperatura o produciendo energía mecánica o eléctrica).

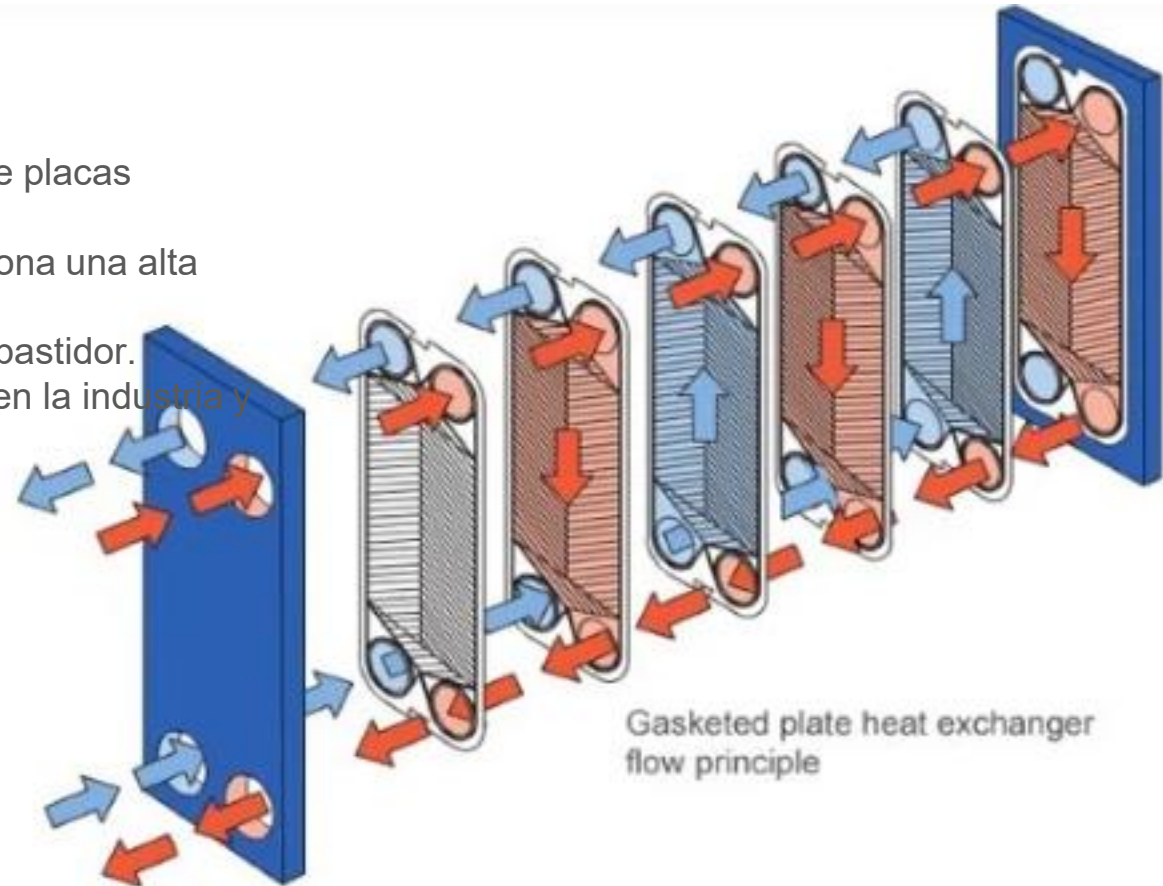


1.2. TECNOLOGÍAS PARA LA CAPTURA Y APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL

1.2.1. INTERCAMBIADORES DE CALOR

Intercambiador de calor de placas

- Transfiere calor entre dos fluidos separados a través de placas metálicas.
- Su amplia superficie de transferencia de calor proporciona una alta eficiencia.
- Componentes principales: placas, juntas/soldaduras y bastidor.
- Se utiliza habitualmente para la recuperación de calor en la industria y en sistemas de climatización.
- Diseño compacto y alto rendimiento.

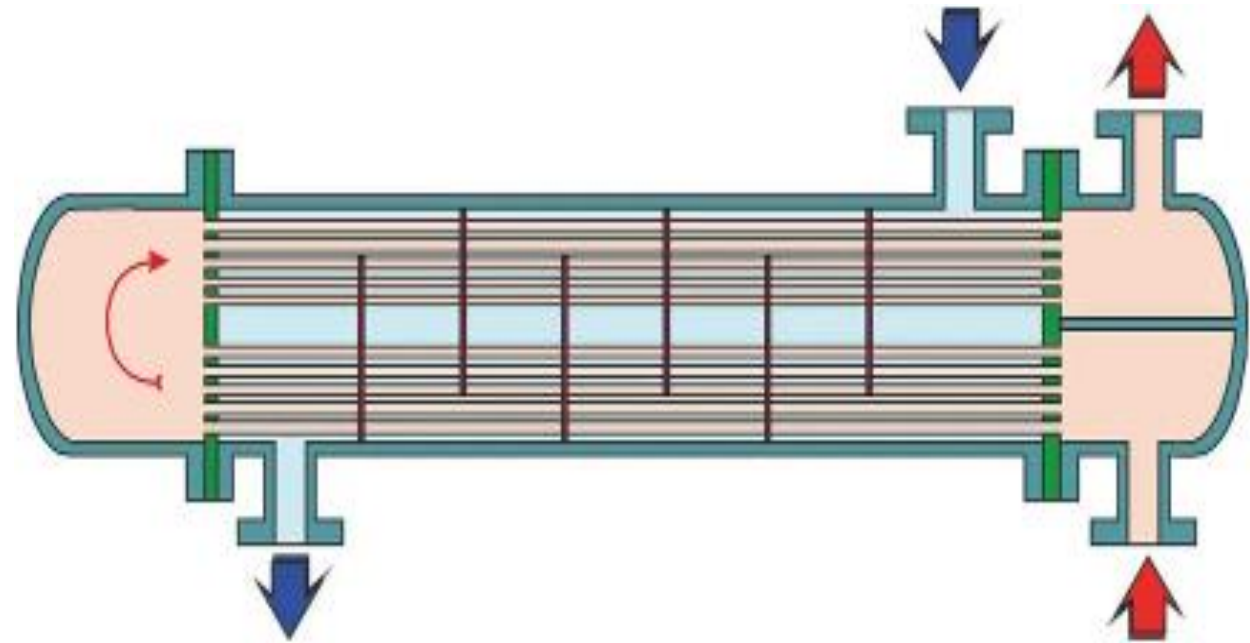


1.2. TECNOLOGÍAS PARA LA CAPTURA Y APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL

1.2.1. INTERCAMBIADORES DE CALOR

Intercambiador de calor de carcasa y tubos

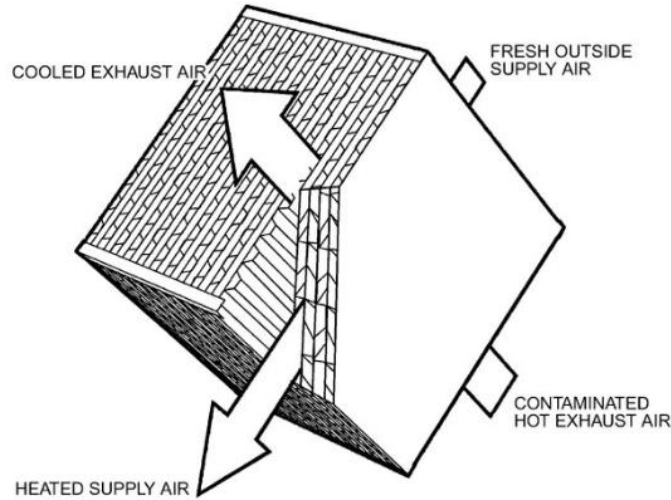
- Transfiere calor entre fluidos mediante tubos situados dentro de una carcasa.
- Un fluido circula por los tubos, mientras que el otro lo hace alrededor de ellos.
- Componentes principales: tubos, carcasa, deflectores y placas tubulares.
- Adecuado para aplicaciones de alta presión y alta temperatura.
- Diseño robusto para grandes caudales y líquidos o gases.



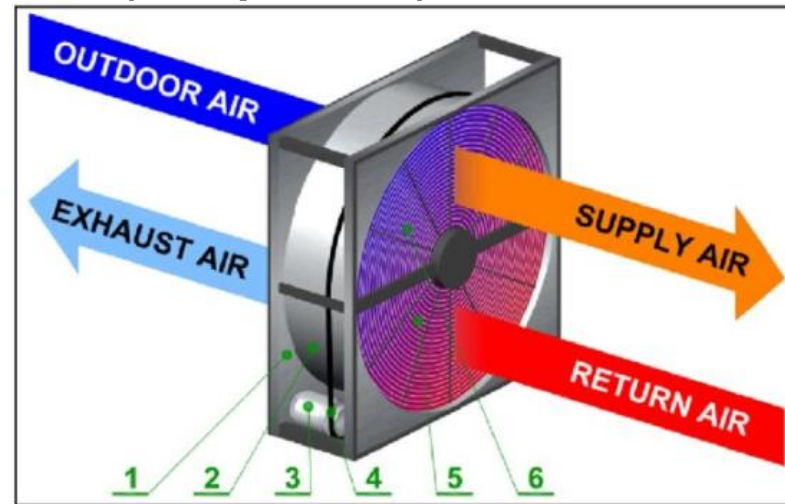
1.2. TECNOLOGÍAS PARA LA CAPTURA Y APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL

1.2.1. INTERCAMBIADORES DE CALOR

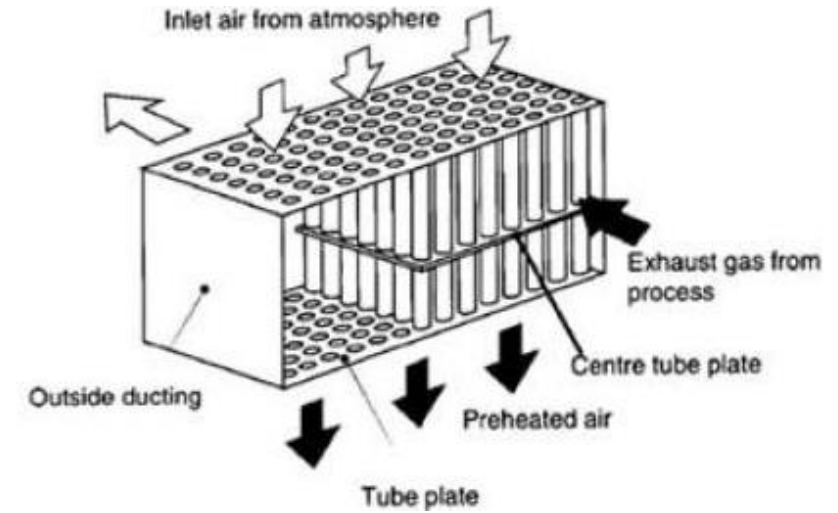
Intercambiador de calor aire-aire (recuperador)



Intercambiador de placas fijas



Intercambiador de calor rotativo



Intercambiador de calor de tubos de calor

Meshram, P., Pandey, B. D. y Mankhand, T. R. (2016). Tratamiento hidrometalúrgico de baterías secundarias usadas: una revisión. *Resources, Conservation and Recycling*, 113, 118-138. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.05.013>

Kanaś, K., Sztékler, K., Nowak, W. y Siwekowski, P. (2019). Análisis del funcionamiento de un intercambiador de calor de carcasa y tubos. *E3S Web of Conferences*, 108, 01011. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910801011>

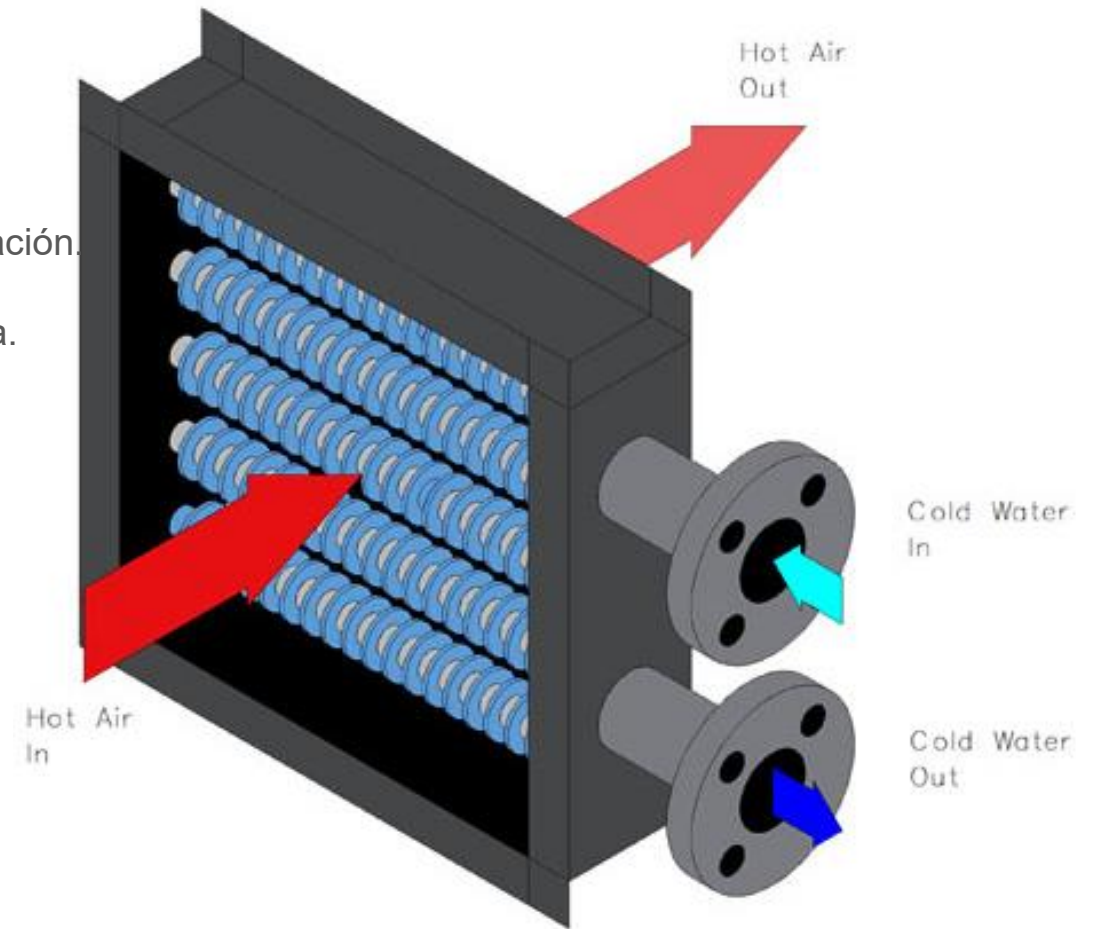
Dispositivos comerciales de recuperación de calor residual. (2024). Consultado el 7 de noviembre de 2024, en https://www.opexworks.com/KBase/Energy_Management/Thermal_Energy_Management/Waste_Heat_Recovery/Commercial_Waste_Heat_Recovery_Devices.htm

1.2. TECNOLOGÍAS PARA LA CAPTURA Y APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL

1.2.1. INTERCAMBIADORES DE CALOR

Intercambiadores de calor de tubos con aletas/Economizadores

- Recuperan calor de gases de escape a baja y media temperatura.
- Constan de tubos con aletas por los que circula el agua de alimentación.
- Se utilizan habitualmente en centrales eléctricas y calderas.
- Precalientan el agua de alimentación y mejoran la eficiencia térmica.
- Capturan el calor residual de los gases de combustión.

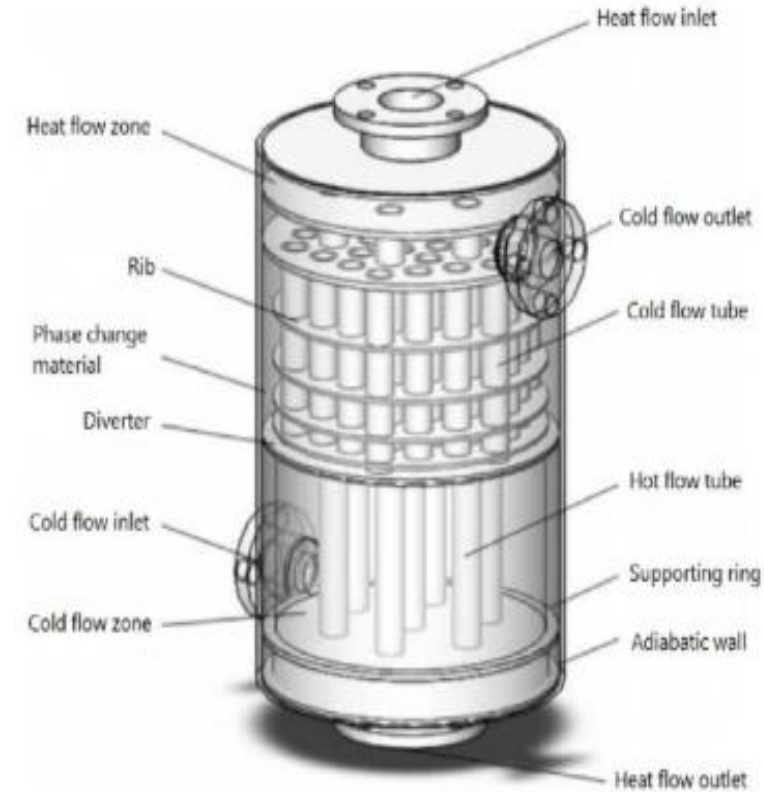


1.2. TECNOLOGÍAS PARA LA CAPTURA Y APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL

1.2.1. INTERCAMBIADORES DE CALOR

Intercambiadores de calor regenerativos

- Almacenan el calor de un fluido y lo transfieren a otro.
- Utilizan un medio sólido (metal o cerámica) para absorber y liberar calor.
- Tipos principales: regeneradores estáticos (p. ej., regeneradores de ladrillos en damero) y regeneradores dinámicos (p. ej., ruedas térmicas rotativas).
- Adecuados para aplicaciones a alta temperatura.
- Son habituales en hornos industriales y sistemas de turbinas de gas.

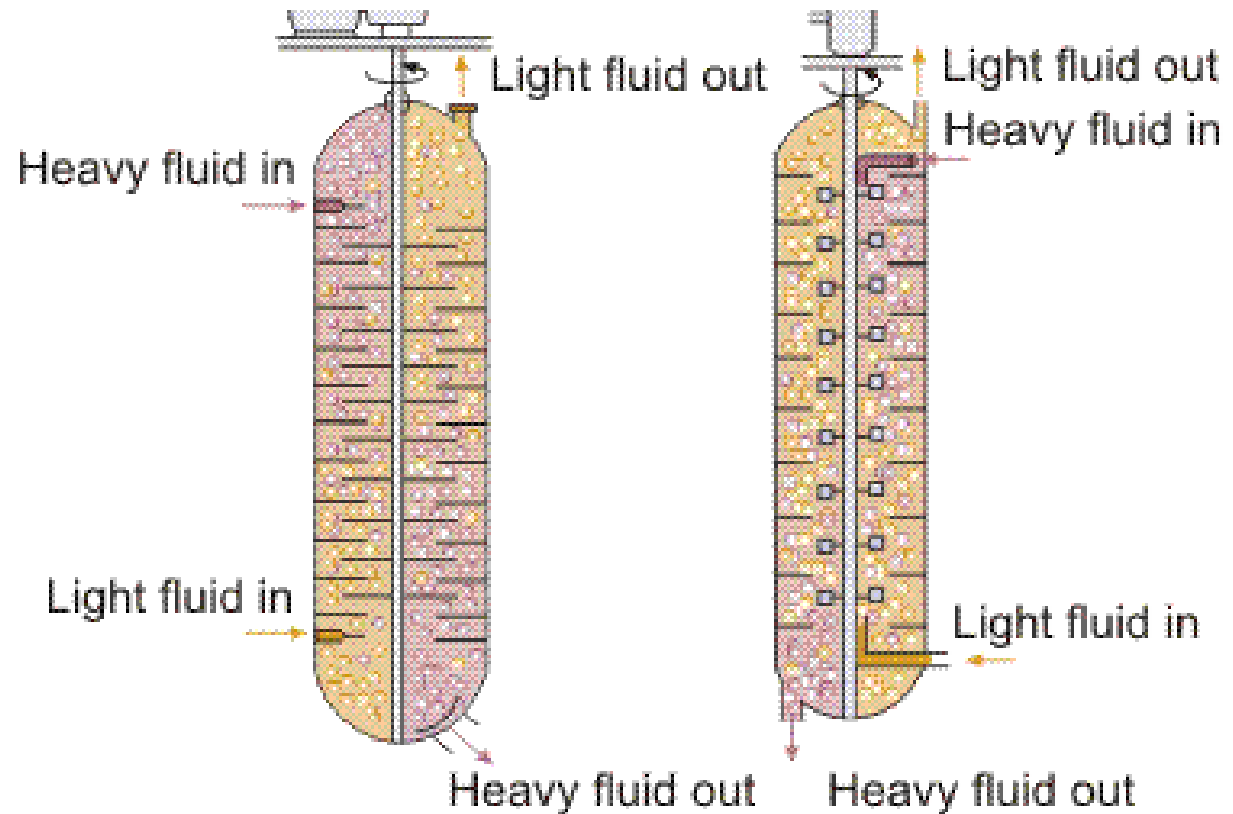


1.2. TECNOLOGÍAS PARA LA CAPTURA Y APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL

1.2.1. INTERCAMBIADORES DE CALOR

Intercambiadores de calor de contacto directo

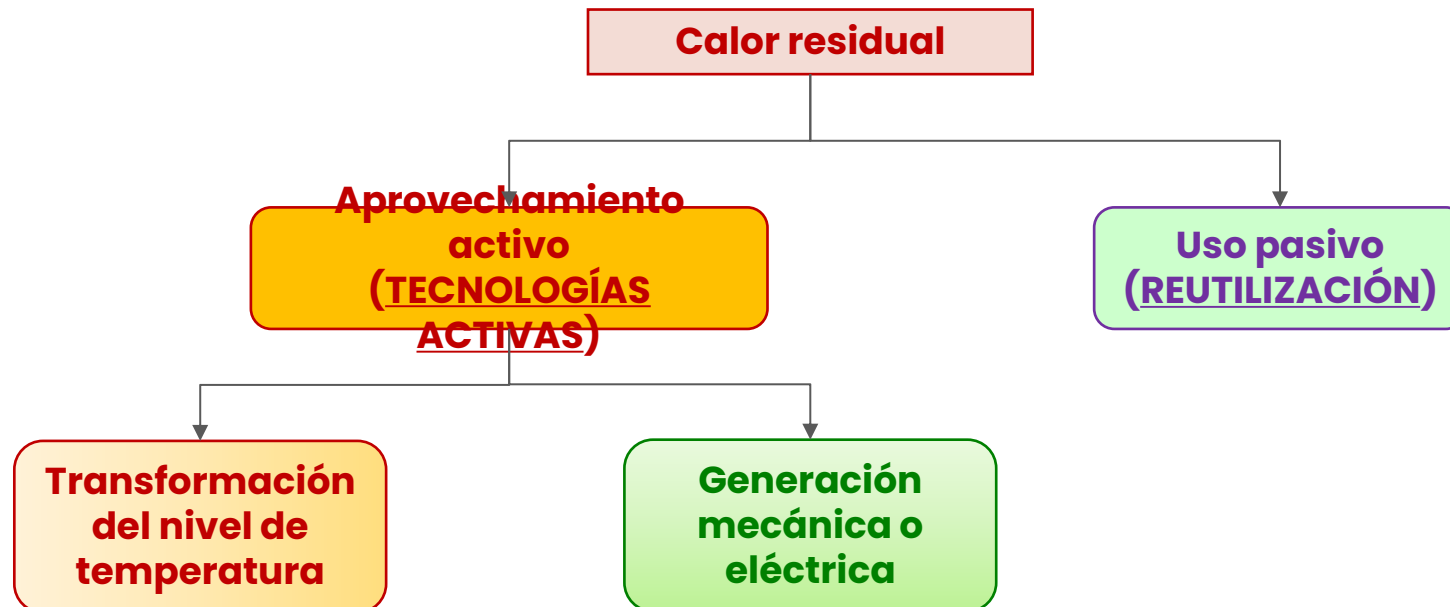
- Los fluidos calientes y fríos entran en contacto directo sin una pared separadora.
- La transferencia de calor se produce por conducción, convección y, en ocasiones, por cambio de fase.
- Ejemplos comunes: torres de refrigeración, condensadores de pulverización y sistemas geotérmicos de contacto directo.
- Son adecuados cuando la mezcla de fluidos es aceptable o no supone un problema.
- Proporcionan una transferencia de calor altamente eficiente en aplicaciones específicas.



1.2. TECNOLOGÍAS PARA LA CAPTURA Y APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL

1.2.1. REVALORIZACIÓN DEL CALOR RESIDUAL

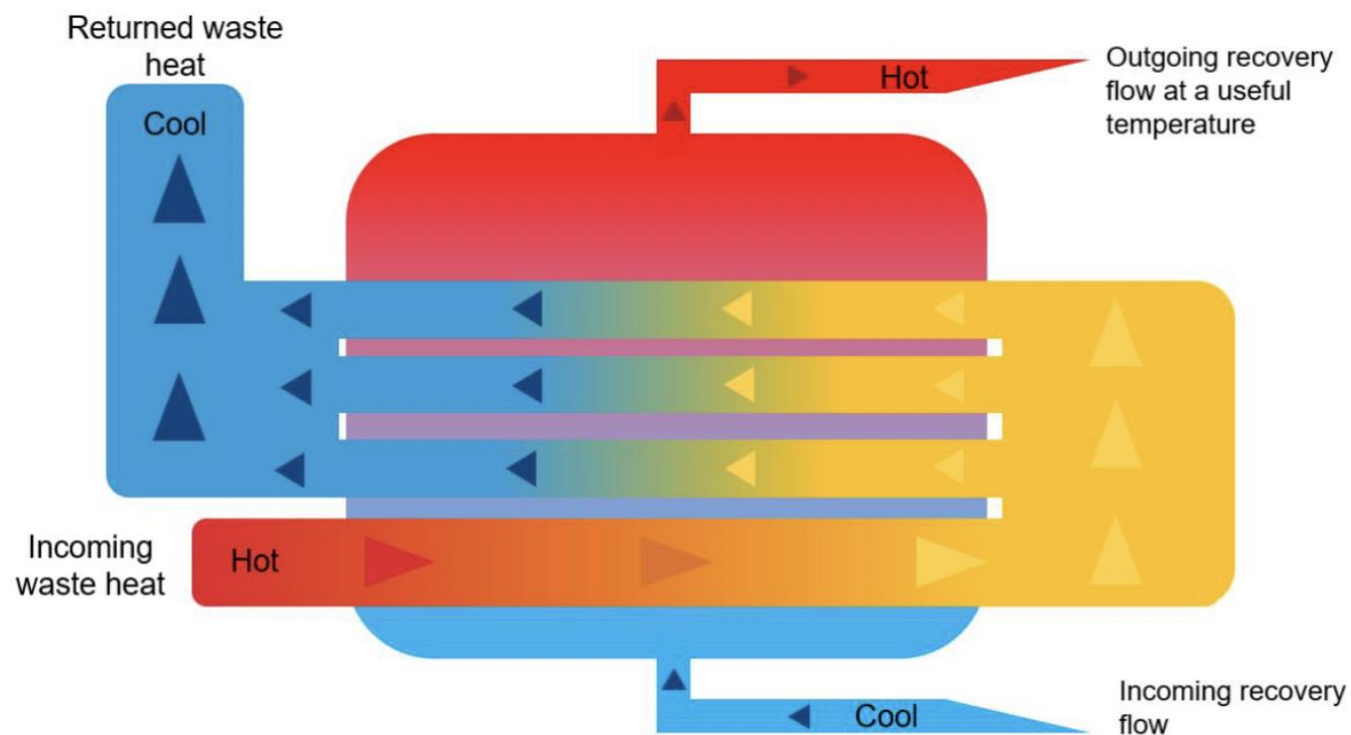
Como se ha mencionado anteriormente, los intercambiadores de calor son las tecnologías más habituales para la captura del calor residual. Una vez capturado, el calor residual puede utilizarse directamente (reutilización) o bien pueden emplearse diversas tecnologías activas para transformarlo en energía térmica a otro nivel de temperatura o en energía mecánica o eléctrica.



1.2. TECNOLOGÍAS PARA LA CAPTURA Y APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL

1.2.2. REUTILIZACIÓN

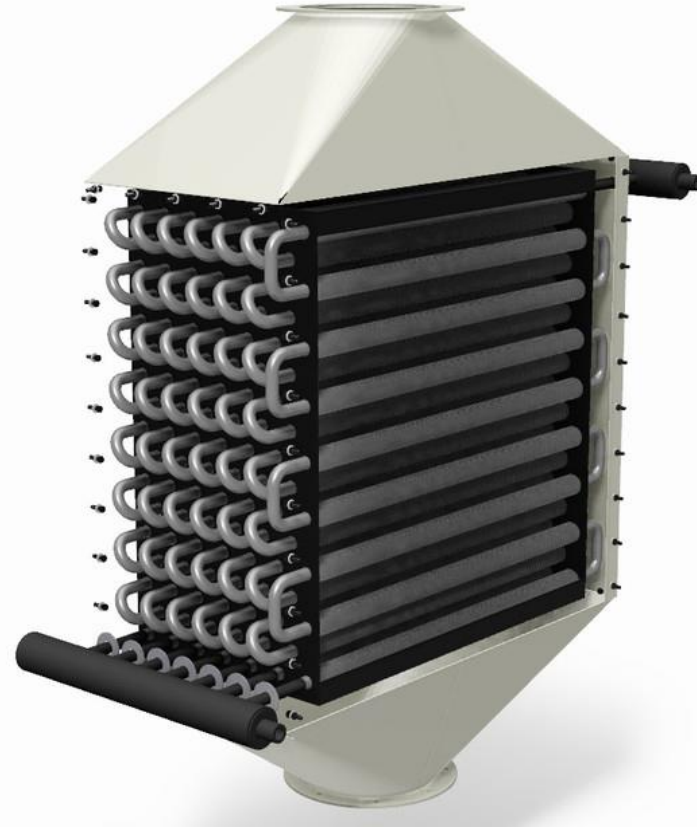
Generadores de vapor por recuperación de calor (HRSG): intercambiadores de calor que capturan y aprovechan el calor residual de los gases de escape calientes para generar vapor.



1.2. TECNOLOGÍAS PARA LA CAPTURA Y APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL

1.2.2. REUTILIZACIÓN

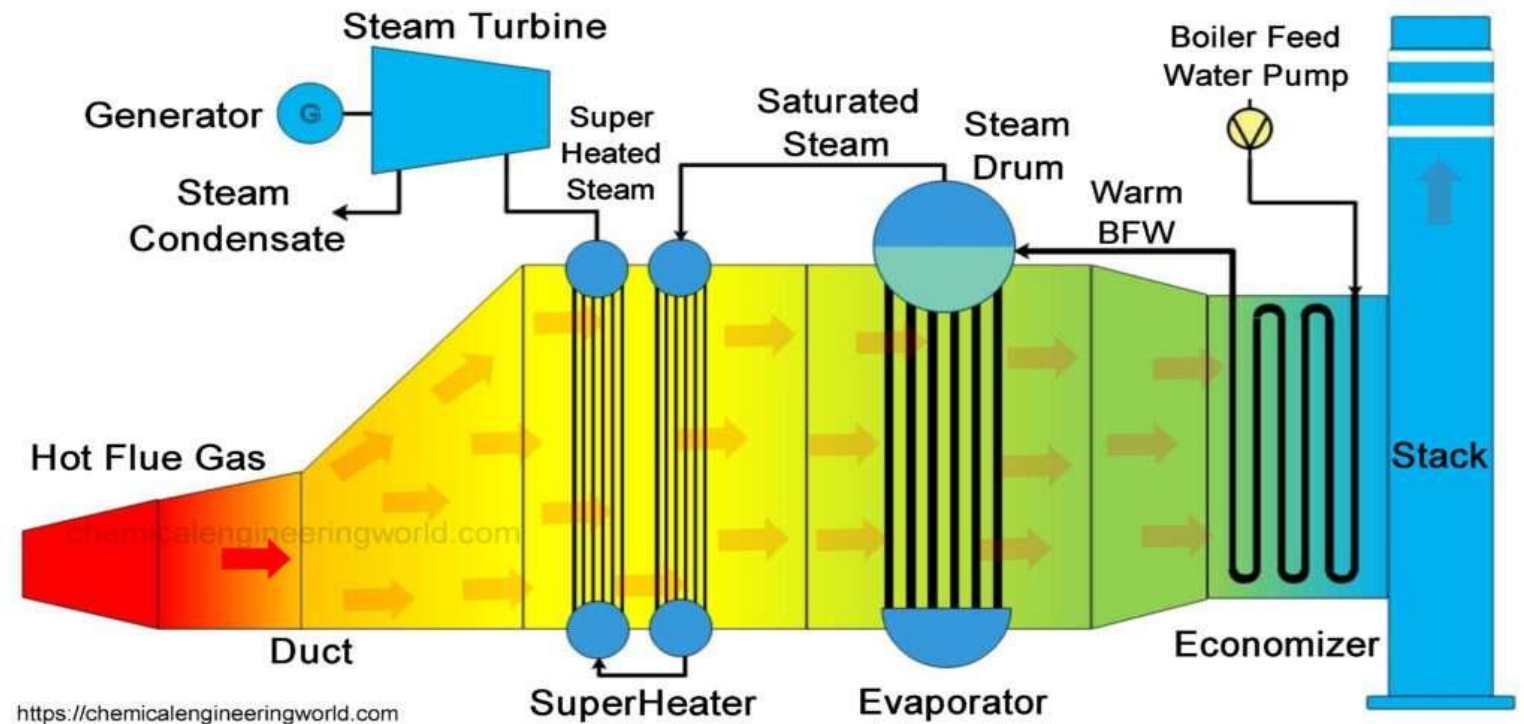
Economizadores: intercambiadores de calor que recuperan el calor residual de los gases de escape o de los fluidos de proceso para precalentar agua o aire.



1.2. TECNOLOGÍAS PARA LA CAPTURA Y APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL

1.2.2. REUTILIZACIÓN

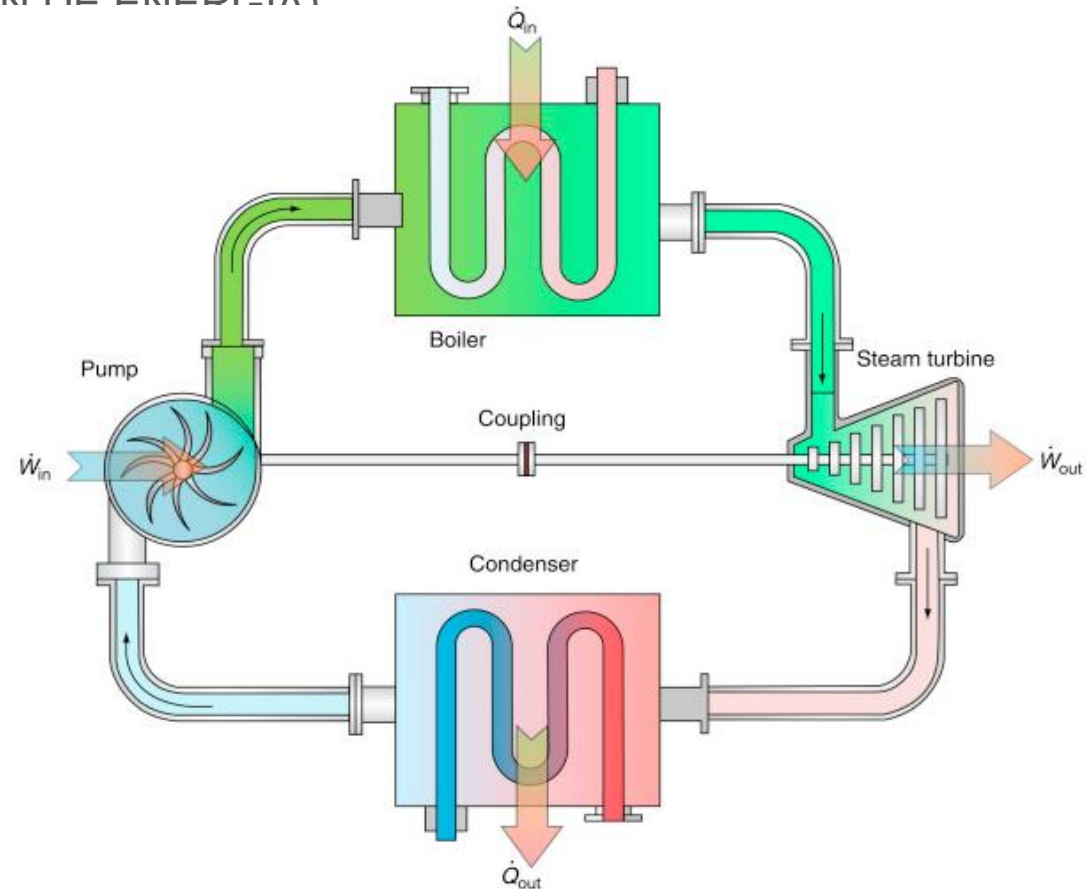
Calderas de recuperación de calor: sistema que funciona de manera similar a una caldera de gas, pero que, en lugar de utilizar gas, aprovecha el calor residual para calentar un medio útil, normalmente agua



1.2. TECNOLOGÍAS PARA LA CAPTURA Y APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL

1.2.3. TECNOLOGÍAS ACTIVAS (TECNOLOGÍAS DE APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA)

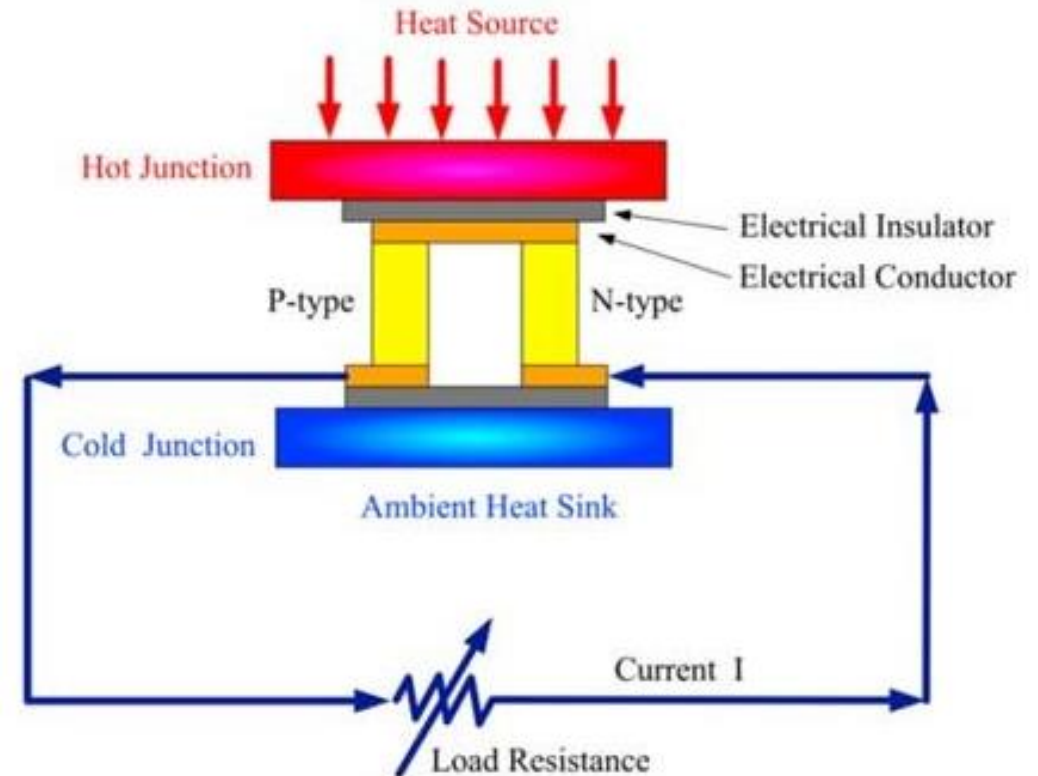
- Convierte el calor residual en energía eléctrica o mecánica utilizando un fluido de trabajo orgánico.
- Adecuado para fuentes de calor de temperatura baja a media.
- Más eficiente que los ciclos de vapor convencionales a temperaturas moderadas.
- Se utiliza habitualmente en sistemas de recuperación de calor residual industrial y de energías renovables.



1.2. TECNOLOGÍAS PARA LA CAPTURA Y APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL

1.2.3. TECNOLOGÍAS ACTIVAS (TECNOLOGÍAS DE APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL PARA LA GENERACIÓN DE ENEI

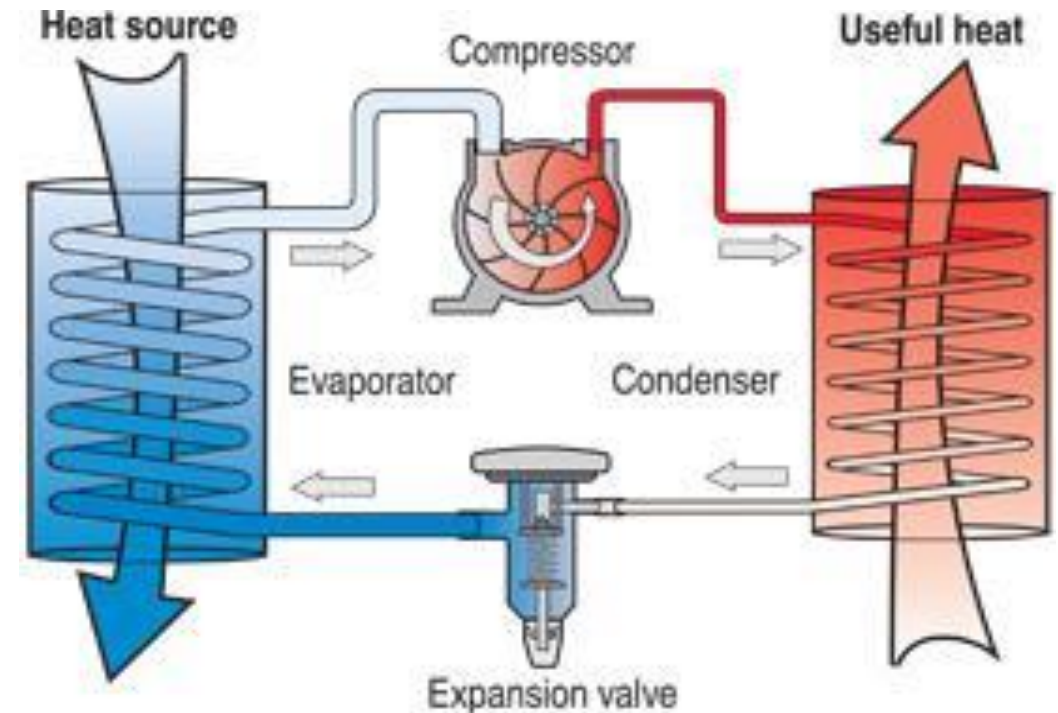
- Convierte directamente el calor en electricidad mediante el efecto termoeléctrico.
- No tiene piezas móviles, lo que se traduce en unos requisitos de mantenimiento reducidos.
- Menor eficiencia que los sistemas ORC.
- Adecuado para aplicaciones que requieren pequeñas cantidades de energía eléctrica a partir del calor residual.



1.2. TECNOLOGÍAS PARA LA CAPTURA Y APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL

1.2.3. TECNOLOGÍAS ACTIVAS (CONVERSIÓN DEL CALOR RESIDUAL EN FRÍO O CALOR)

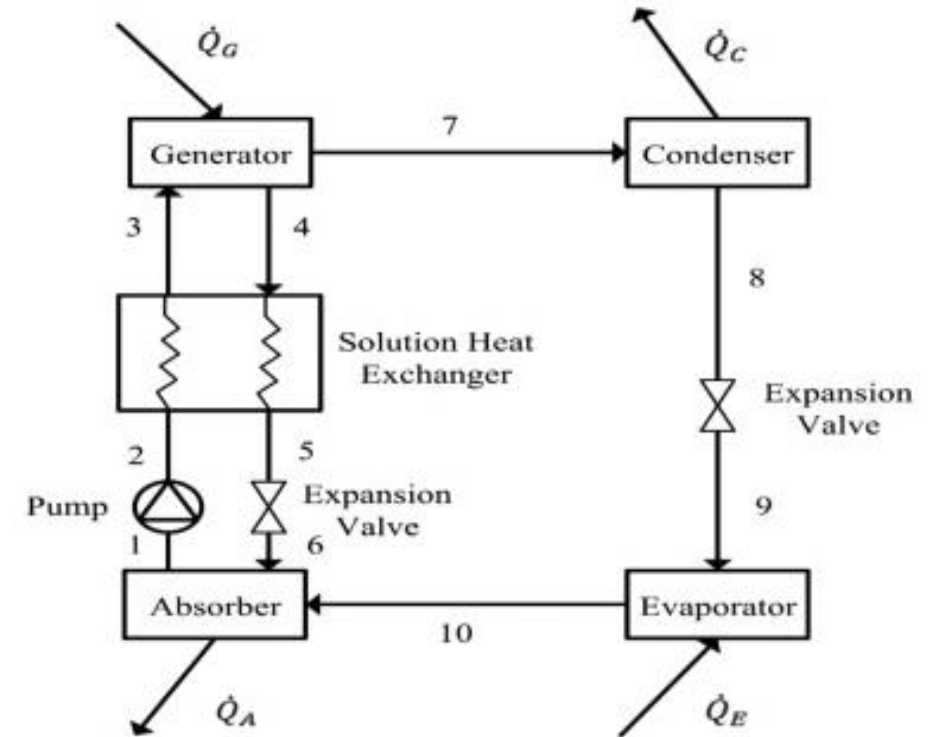
- Elevar el calor residual a un nivel de temperatura más alto para su uso en calefacción.
- Se basa, por lo general, en el ciclo de compresión de vapor.
- Mejoran la eficiencia energética al reutilizar el calor residual a baja temperatura.
- Ampliamente utilizadas en aplicaciones de calefacción industrial y de edificios.



1.2. TECNOLOGÍAS PARA LA CAPTURA Y APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL

1.2.3. TECNOLOGÍAS ACTIVAS (CONVERSIÓN DEL CALOR RESIDUAL EN FRÍO O CALOR)

- Sistemas accionados térmicamente que utilizan calor en lugar de compresión mecánica.
- Permiten elevar el calor residual a un nivel de temperatura superior.
- Adecuados cuando se dispone fácilmente de una fuente de energía térmica.
- Se utilizan habitualmente en sistemas industriales de recuperación de calor residual y de cogeneración.



1.2. TECNOLOGÍAS PARA LA CAPTURA Y APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL

1.2.3. TECNOLOGÍAS ACTIVAS (BOMBA DE CALOR DE COMPRESIÓN DE VAPOR)

Bombas de calor de compresión de vapor (VCHP)

- Recuperan y **elevan** la temperatura del **calor residual de baja calidad**.
- Son fundamentales para **la descarbonización** mediante la electrificación de la calefacción.
- Amplia aplicabilidad (p. ej., **calefacción urbana**).
- COP = carga del condensador / potencia del compresor** (normalmente entre 2 y 6).
- El uso del calor residual aumenta el COP al reducir el salto de temperatura.

Comunidades energéticas en la calefacción urbana

Aprovechamiento del calor residual



Comunidades energéticas en la calefacción urbana

Aprovechamiento del calor residual de los centros de datos



- Consumo mundial de electricidad en 2010: 350 TWh
- Esto representa más del 1 % del consumo mundial de electricidad en 2010
- La refrigeración es necesaria para el funcionamiento seguro de los equipos
- Centro de datos de tamaño medio:
- 1 MW de capacidad informática
- Emisión de calor: 3 700 MWh/año con refrigeración
- $0,46 \text{ MWh}_{\text{th}}$ de calor residual por cada 1 MW_{el} de consumo eléctrico



Comunidades energéticas en la calefacción urbana

Aprovechamiento del calor residual de los centros de datos



- Consumo de energía eléctrica de los centros de datos en Europa:
 - 2007: 56 TWh/año
 - 2020: se prevé que alcance los 104 TWh/año
- Tendencias al alza: streaming, IoT
- La refrigeración representa el 40 % del consumo energético total de los centros de datos.
- Rendimiento de los centros de datos:
 - Rendimiento informático de 5 MW (en algunas ubicaciones de Europa)
 - 500 kW – 5 MW (muchos centros)
 - Menos de 500 kW (la mayoría de los centros)

Fuente: www.reuseheat.eu, <https://www.constructionglobal.com/cloud-computing/apple-construct-second-data-centre-china>

Comunidades energéticas en la calefacción urbana

Aprovechamiento del calor residual de los túneles del metro



- **Fuente de calor**
- Al frenar los trenes
- Ventilación de los vagones de metro
- **A nivel mundial**
- En 148 ciudades
- 11 000 km de línea
- 151 millones de pasajeros al día
- **En la Unión Europea**
- 50 ciudades medianas y grandes
- 2 800 km de líneas
- 31 millones de pasajeros al día
- 6,7-11,2 TWh/año de calor residual
- **Media de 1 km entre dos estaciones**
- **En una zona densamente poblada**

Comunidades energéticas en la calefacción urbana

Aprovechamiento del calor residual de las redes de alcantarillado mediante bombas de calor



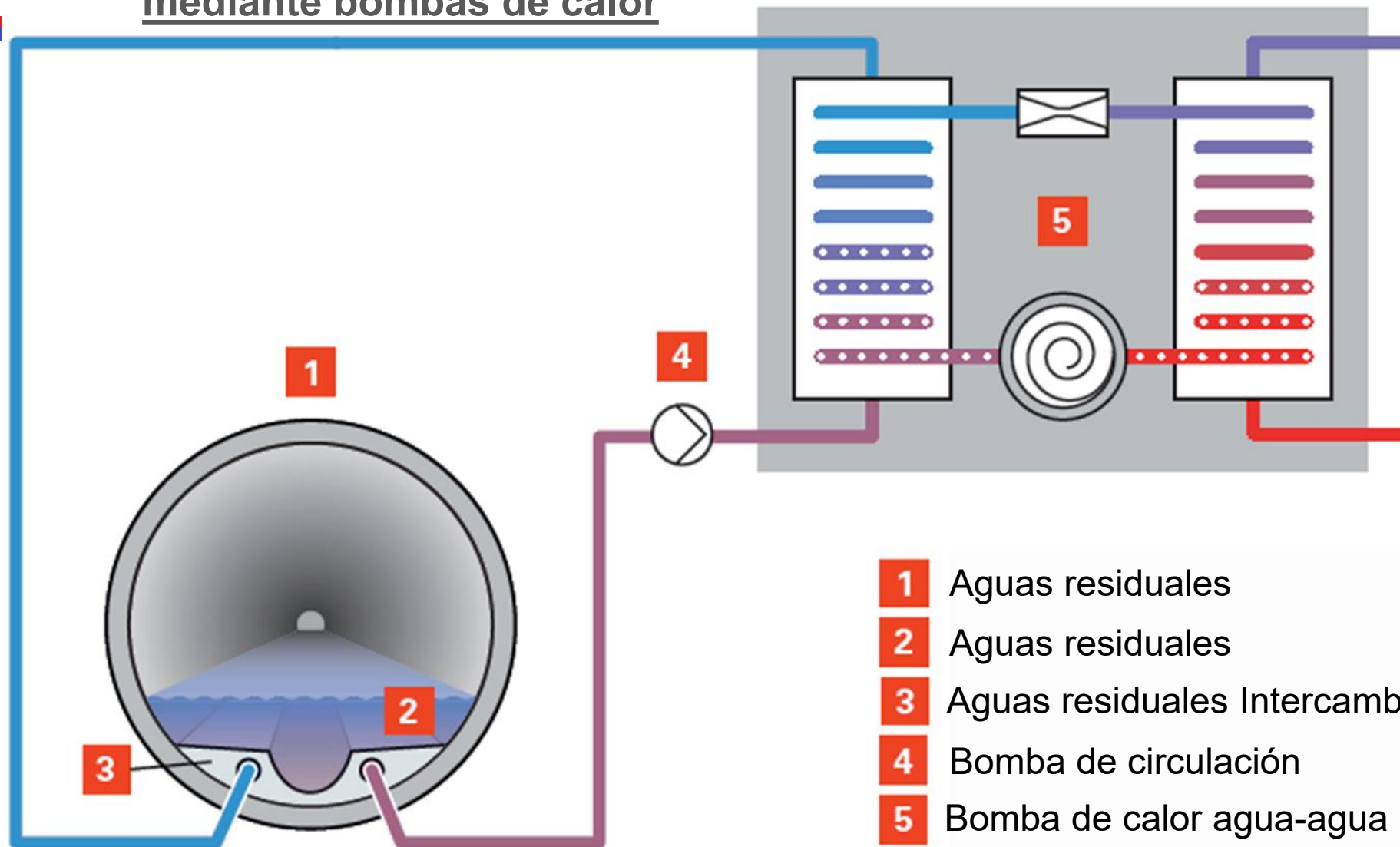
- Fuente de calor
 - Media anual de 10-15 °C
 - En verano, alcanza los 20 °C
- Aplicación de la tecnología de bombas de calor:
 - En ciudades con más de 10 000 habitantes
 - puede cubrir el 5 % de la demanda total de calor
 - 150 TWh/a
- En Alemania
 - podría abastecer al 20 % del parque inmobiliario
- Proyectos finalizados
 - Colonia
 - Niza



REUSEHEAT

Comunidades energéticas en la calefacción urbana

Aprovechamiento del calor residual de las redes de alcantarillado mediante bombas de calor



1.3. PRINCIPIOS TERMODINÁMICOS DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS BOMBAS DE CALOR

Una bomba de calor funciona basándose en principios termodinámicos fundamentales. Transfiere calor desde una fuente a menor temperatura hacia un sumidero a mayor temperatura utilizando energía externa, normalmente en forma de trabajo eléctrico o mecánico.

Segunda ley de la termodinámica (afirmación de Clausius): El calor fluye de forma natural de una temperatura más alta a una más baja. Una bomba de calor invierte este proceso utilizando trabajo externo para trasladar el calor de un depósito frío a uno caliente.

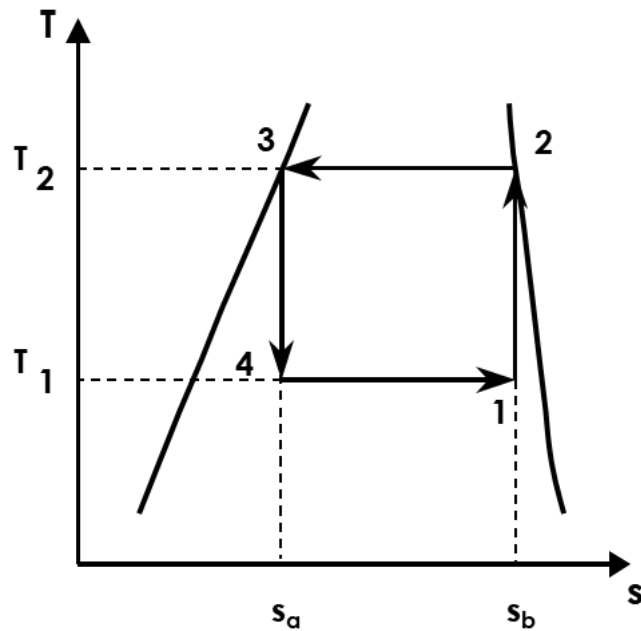
Primera ley de la termodinámica (conservación de la energía): La energía total dentro de un sistema permanece constante:

$$\dot{Q}_{in} + \dot{W} = \dot{Q}_{out}$$

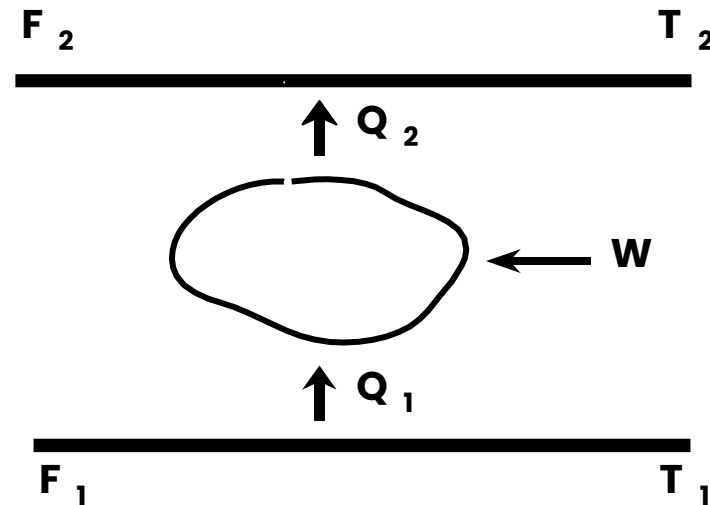
- = Calor absorbido de la fuente a baja temperatura (evaporador)
- = Trabajo aportado (energía del compresor)
- = Calor liberado en el sumidero de alta temperatura (condensador)

1.3. PRINCIPIOS TERMODINÁMICOS DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS BOMBAS DE CALOR

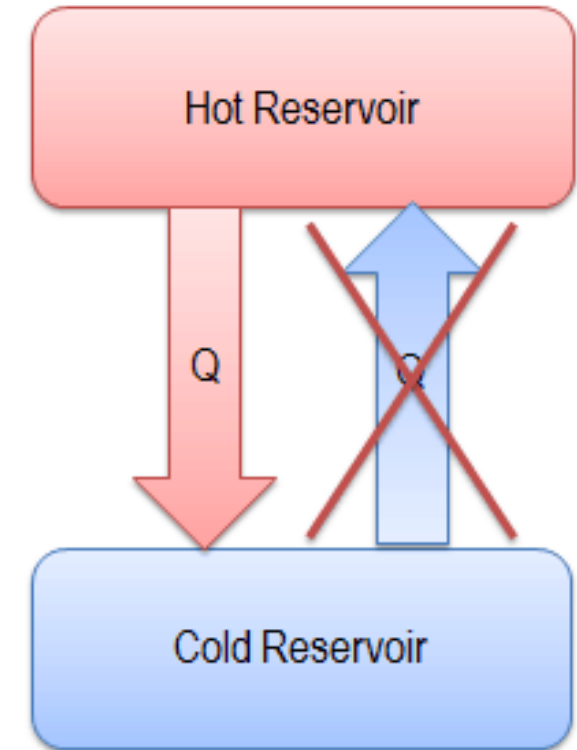
BOMBA DE CALOR (CICLO IDEAL)



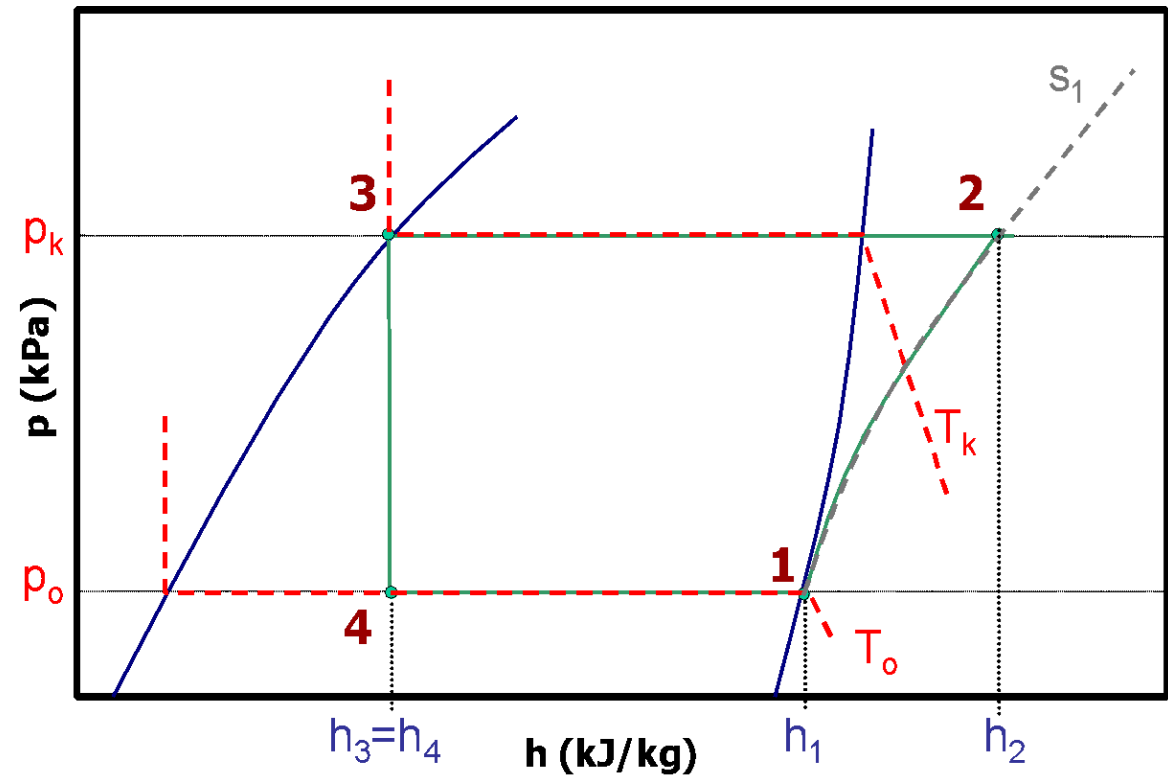
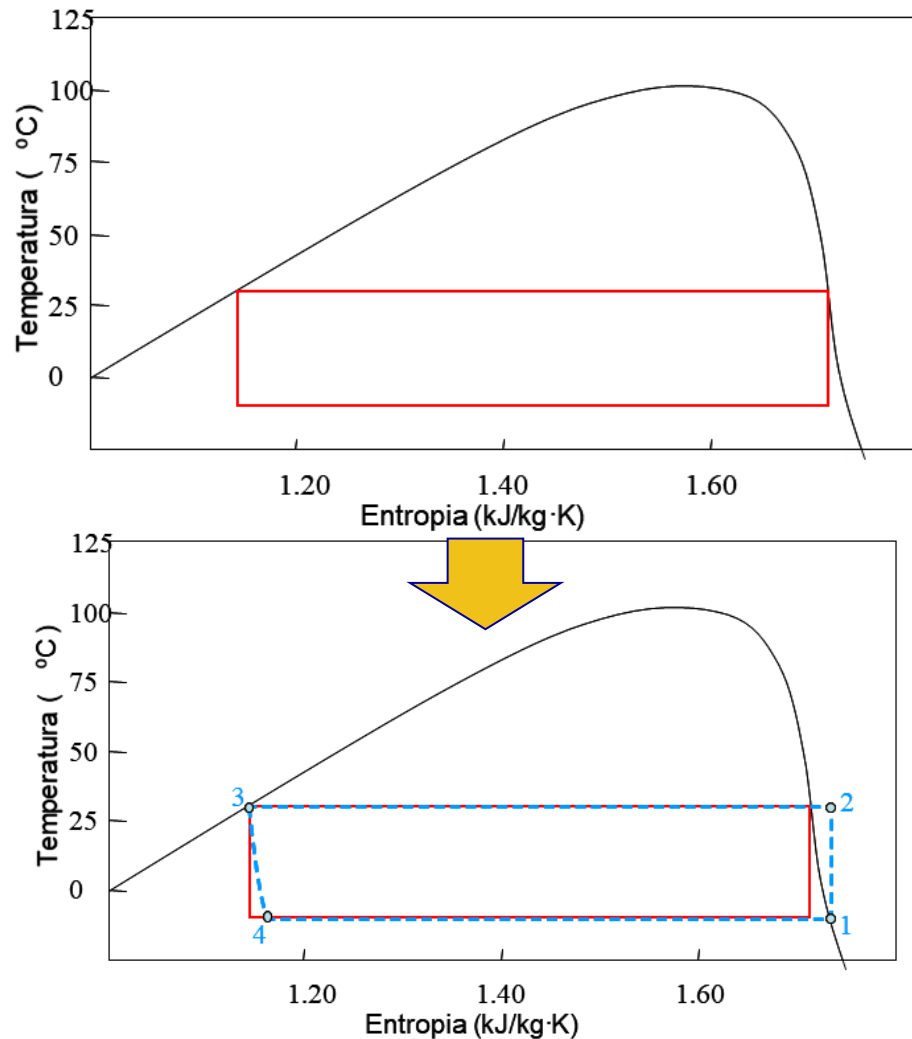
$$\eta_{BC(Carnot)} = \frac{T_2}{T_2 - T_1}$$



Clausius Statement



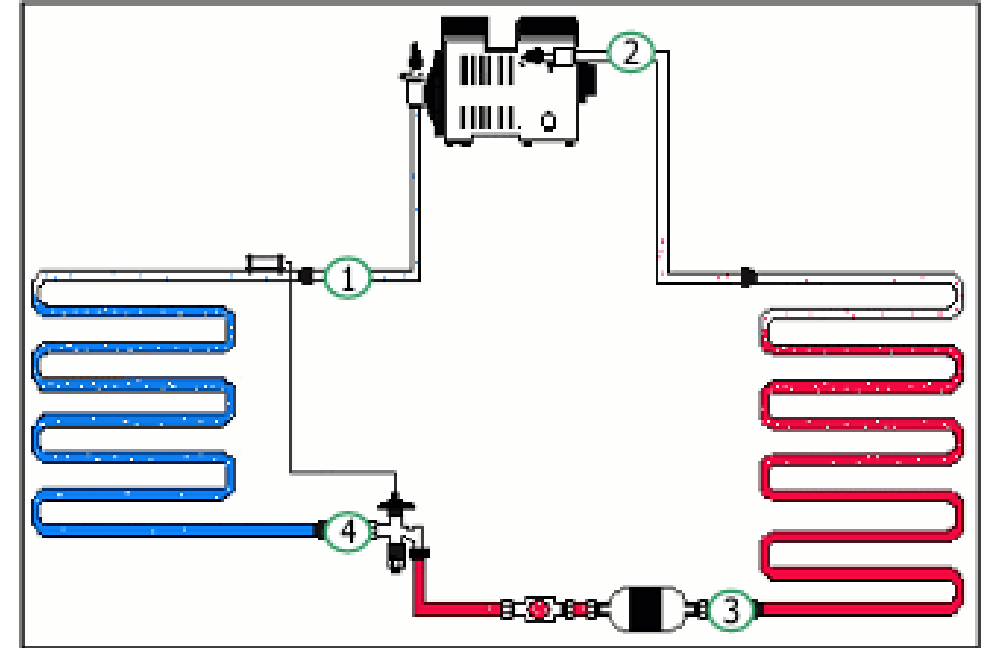
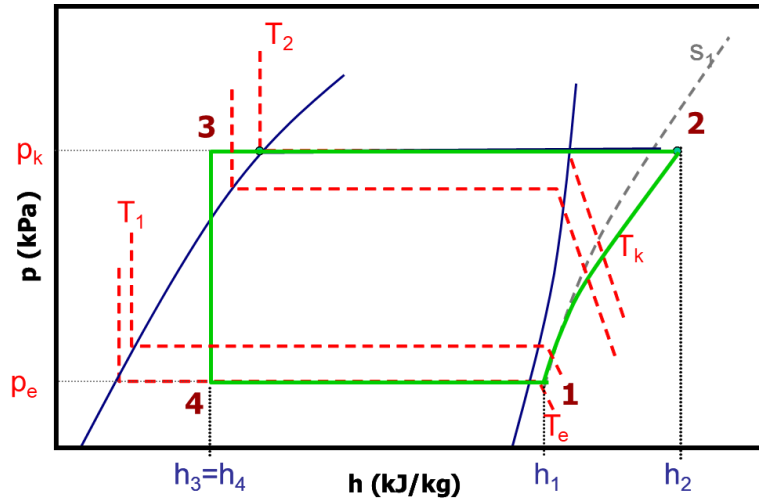
1.3. PRINCIPIOS TERMODINÁMICOS DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS BOMBAS DE CALOR



1.3. PRINCIPIOS TERMODINÁMICOS DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS BOMBAS DE CALOR

BOMBA DE CALOR (CICLO REAL)

Refrigerante

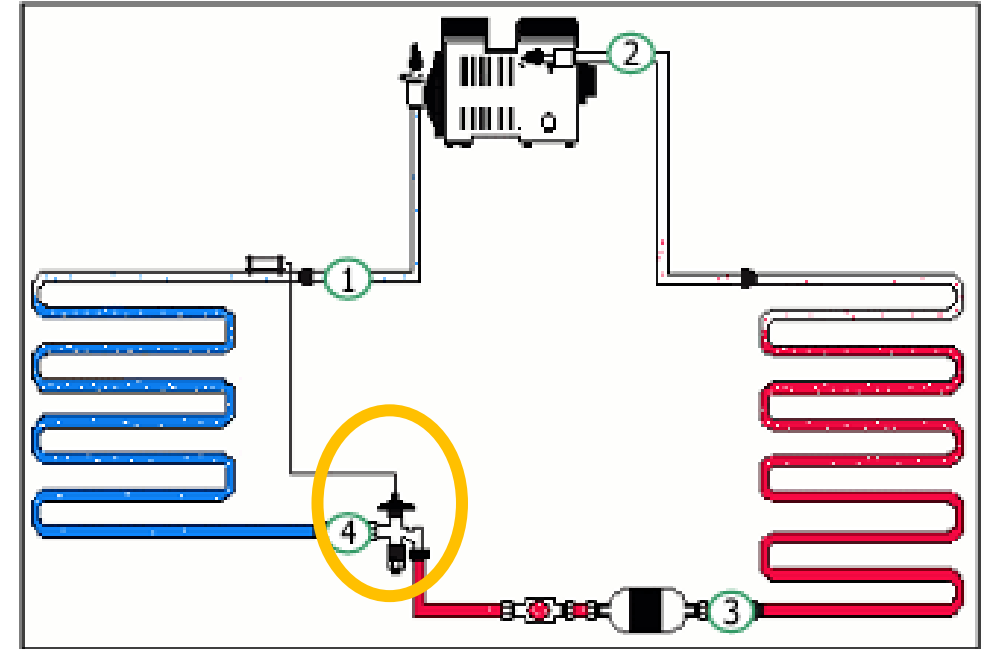
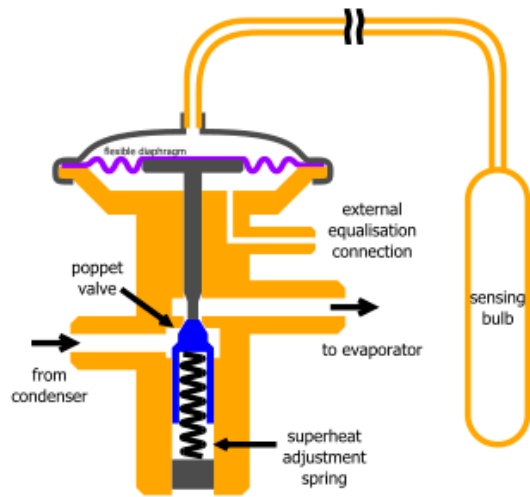


El refrigerante es la sustancia que circula de forma cíclica por los distintos elementos del sistema, absorbiendo calor a bajas temperaturas en el evaporador y liberándolo a temperaturas más altas en el condensador. Por lo general, estos procesos implican un cambio de estado del fluido.

1.3. PRINCIPIOS TERMODINÁMICOS DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS BOMBAS DE CALOR

BOMBA DE CALOR (CICLO REAL)

Expansor



- La válvula de expansión reduce la presión del refrigerante desde la presión de condensación hasta la presión de evaporación.

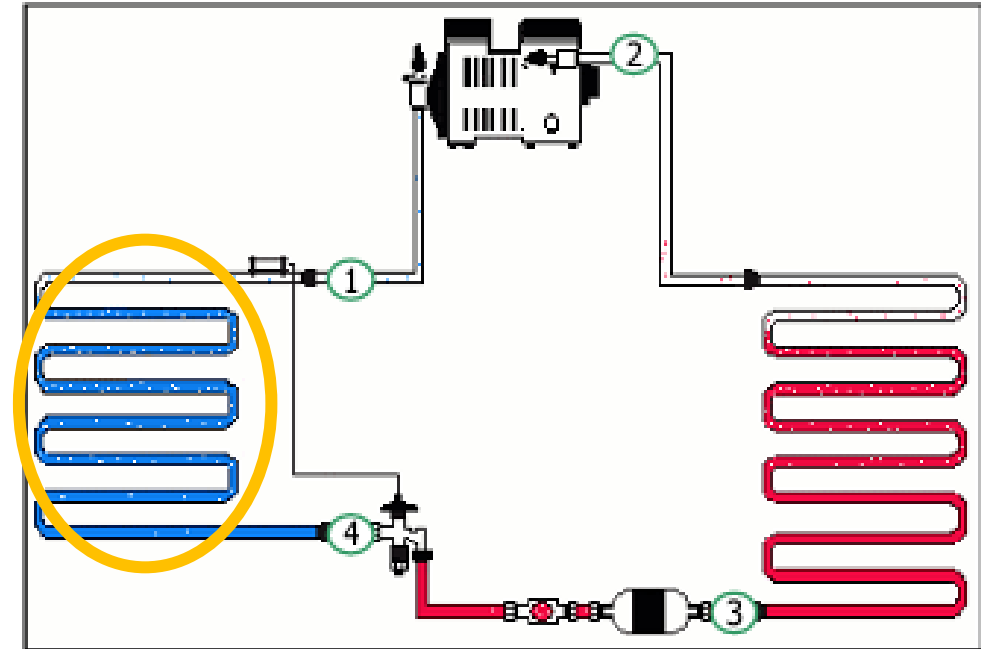
Válvula de expansión térmica - Wikipedia. (s. f.). Consultado el 7 de noviembre de 2024, en https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_expansion_valve

Válvula de expansión termostática - Parker - Serie EBS | Parker NA. (s. f.). Consultado el 7 de noviembre de 2024, en <https://ph.baldwinfilters.com/us/es/product-list/thermostatic-expansion-valve-parker-ebs-series>

1.3. PRINCIPIOS TERMODINÁMICOS DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS BOMBAS DE CALOR

BOMBA DE CALOR (CICLO REAL)

Evaporador

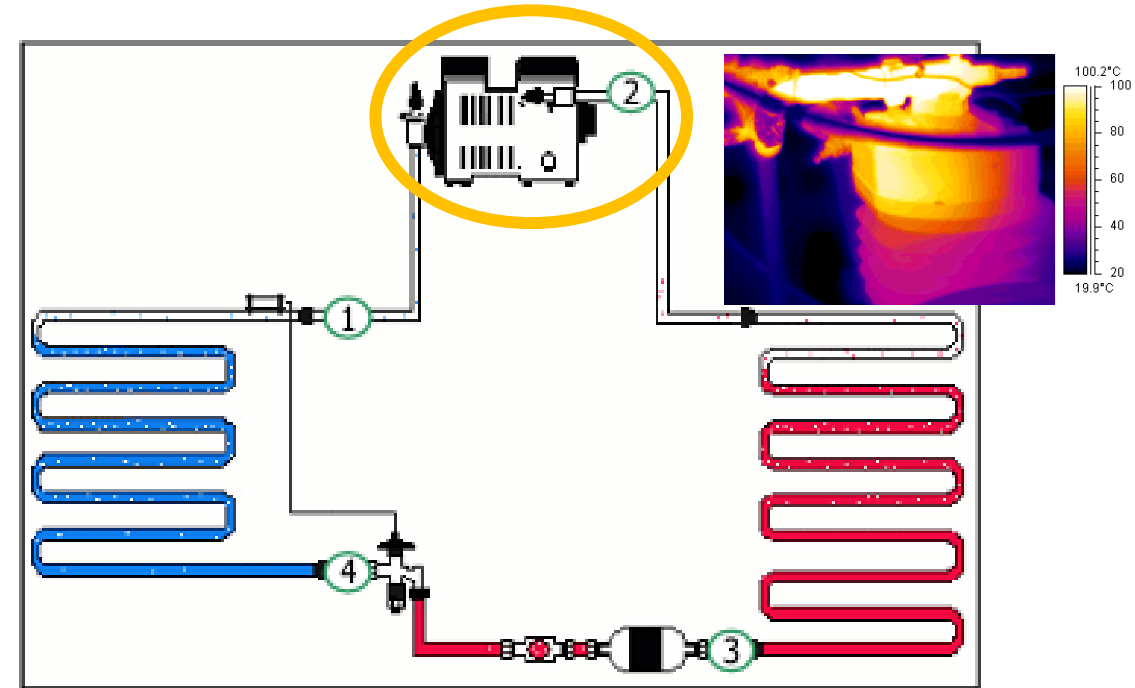
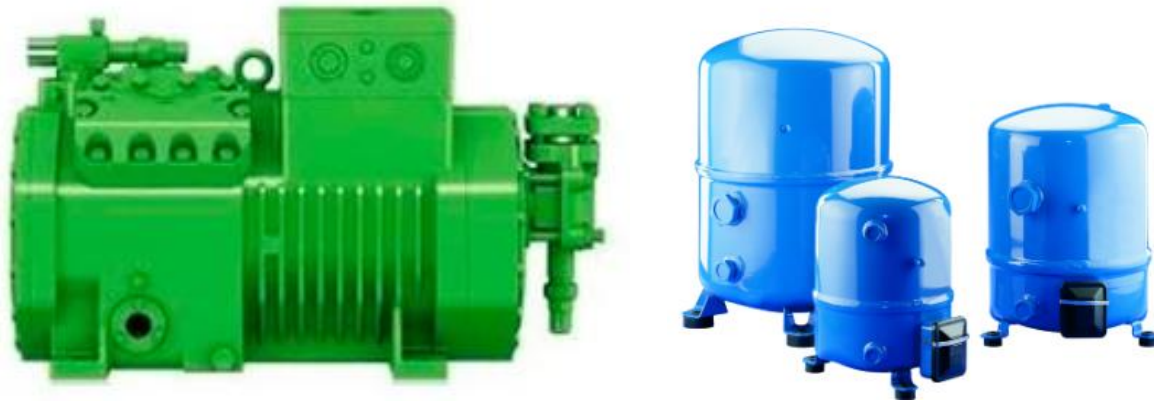


- El evaporador absorbe calor de la fuente de calor, lo que provoca que el refrigerante se evapore a baja presión y temperatura.

1.3. PRINCIPIOS TERMODINÁMICOS DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS BOMBAS DE CALOR

Ciclo real de compresión de vapor

Compresor

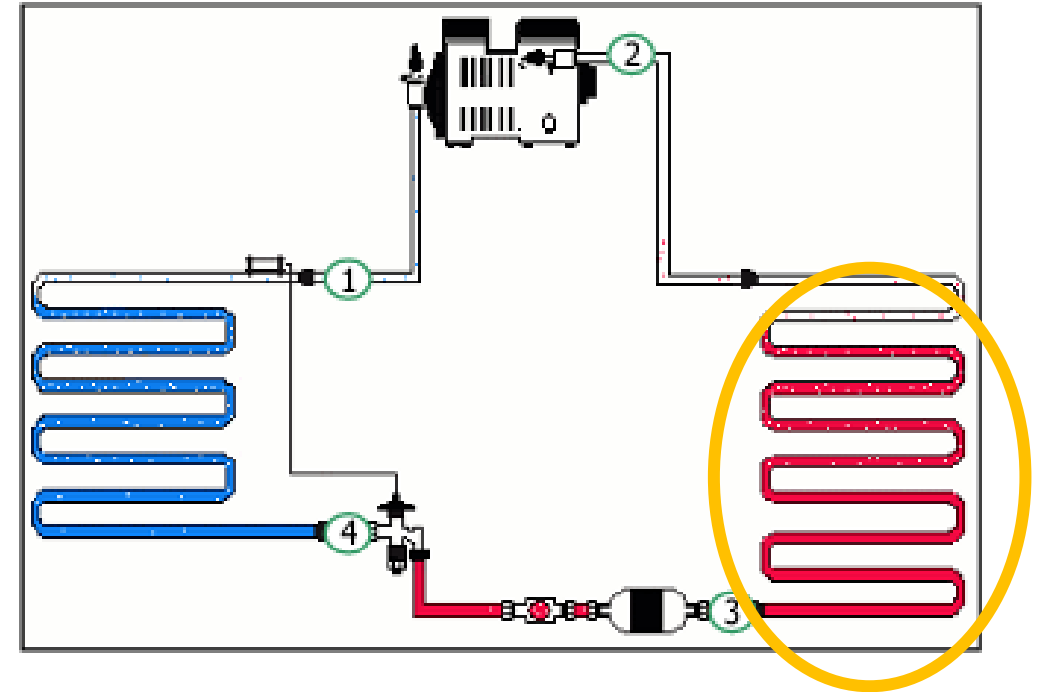
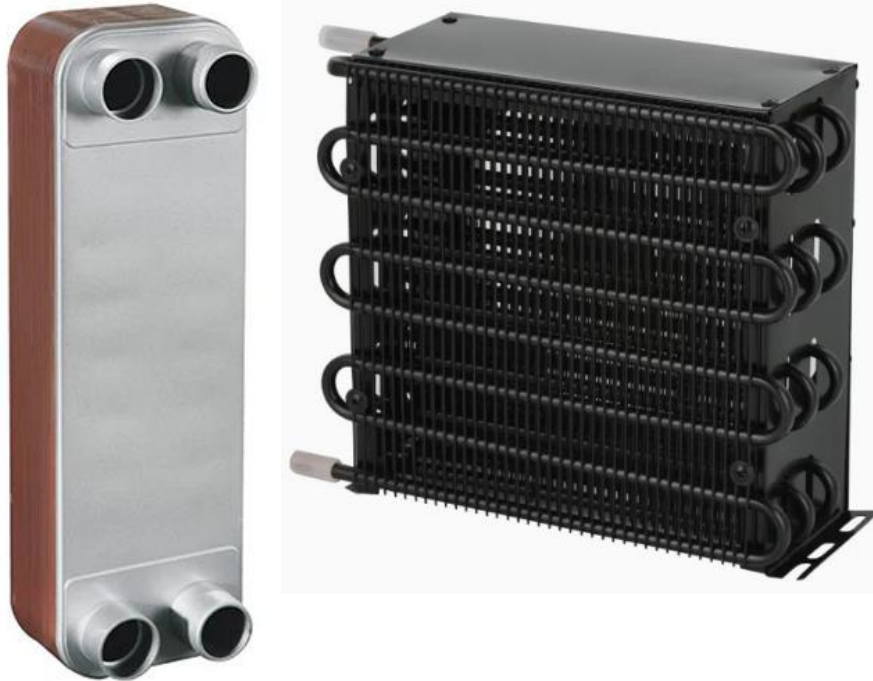


- Compresor: aumenta la presión y la temperatura del refrigerante al comprimir el vapor.

1.3. PRINCIPIOS TERMODINÁMICOS DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS BOMBAS DE CALOR

Ciclo real de compresión de vapor

Condensador



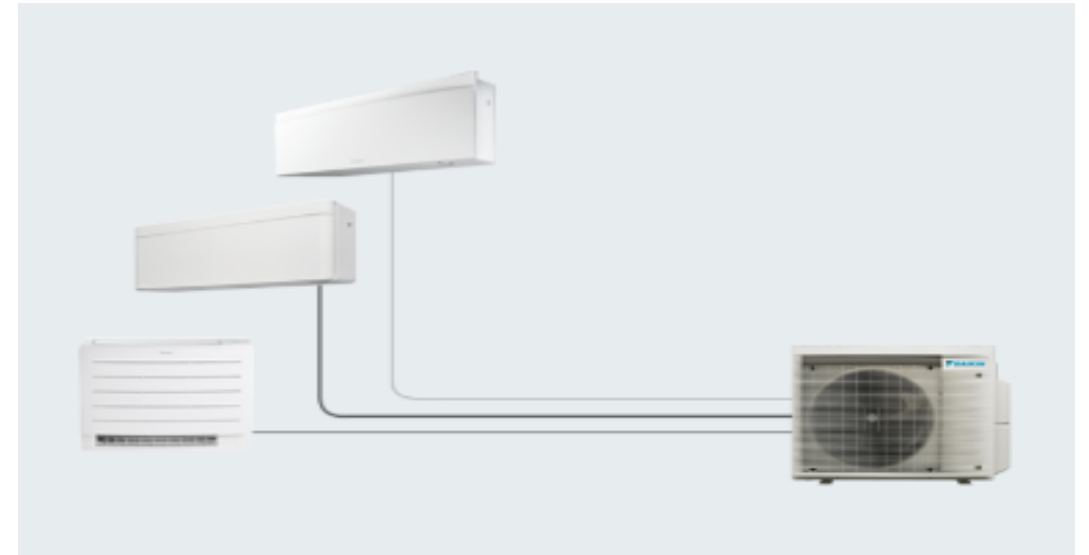
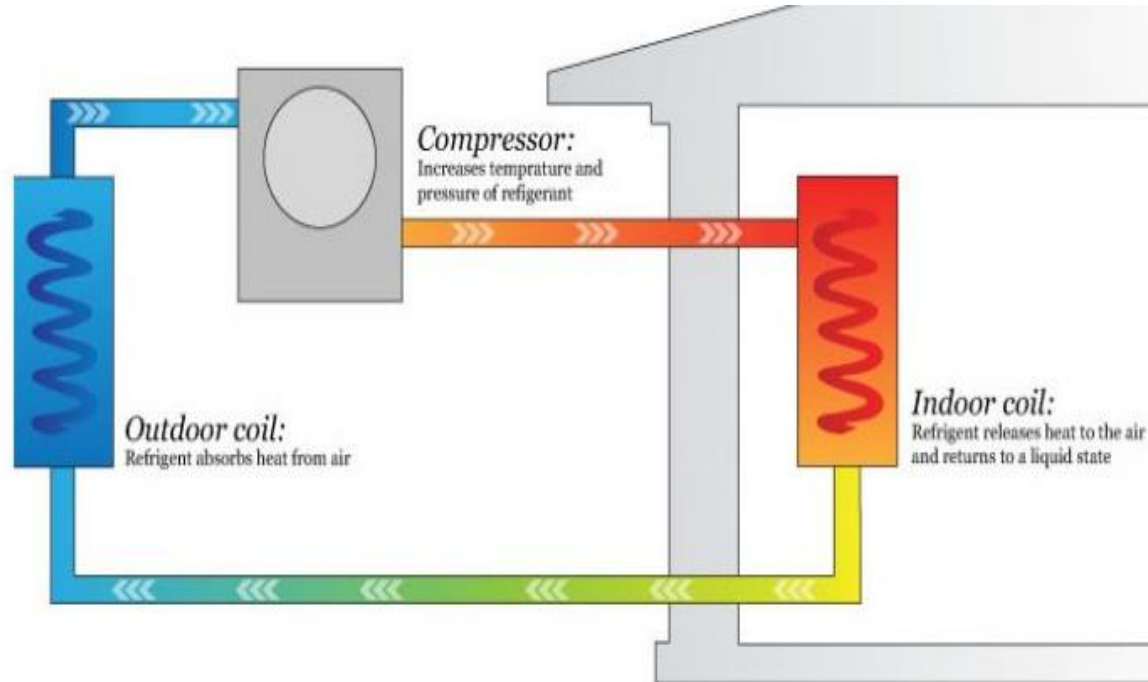
- Condensador: libera calor al dissipador térmico y condensa el vapor del refrigerante, convirtiéndolo en líquido.

Alfa Heating. (s. f.). Secador de aire con intercambiador de calor de placas serie BL26. <https://alfaheating.com/products/plate-heat-exchanger-air-dryer-bl26-series>

Condensador de alambre de acero con tubos Bundy de todos los tamaños. Condensador de frigorífico para aire acondicionado y refrigeración: condensador de refrigeración y condensador de tubos de cobre. (2024). Consultado el 7 de noviembre de 2024, en <https://domicool.en.made-in-china.com/product/eFOGyngSEVUr/China-All-Size-Bundy-Tube-Steel-Wire-Condenser-Refriegerator-Condenser-for-Air-Conditioner-and-Refrigeration.html>

1.4. TECNOLOGÍAS DE BOMBAS DE CALOR

Bombas de calor aire-aire



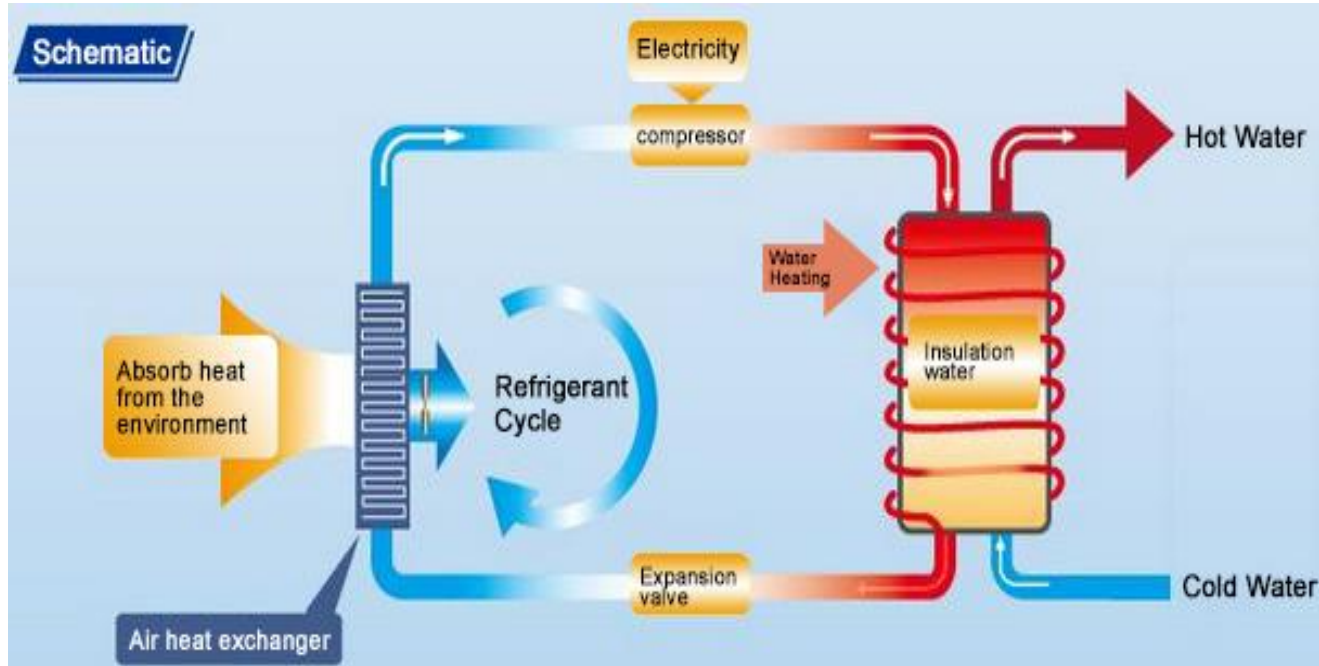
- Transfiere calor entre el aire exterior y el interior.
- Proporciona tanto calefacción como refrigeración.
- Utiliza ventiladores para hacer circular el aire a través del evaporador y el condensador.
- Se utiliza habitualmente en edificios residenciales y comerciales.

Bombas de calor aire-aire - MB Services. (2024). Consultado el 7 de noviembre de 2024, en <https://www.mbservicesgroup.com/funding/heat-pumps/air-to-air-heat-pumps/>

Tecnología de bombas de calor aire-aire | Daikin. (2024). Consultado el 7 de noviembre de 2024, en https://www.daikin.eu/en_us/product-group/air-to-air-heat-pumps.html

1.4. TECNOLOGÍAS DE BOMBAS DE CALOR

Bombas de calor aire-agua



- Transfiere el calor del aire exterior a un circuito de agua.
- Proporciona calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria.

- Puede alimentar calefacción por suelo radiante, radiadores de ventiloconvectores.
- Apto para edificios residenciales y comerciales.

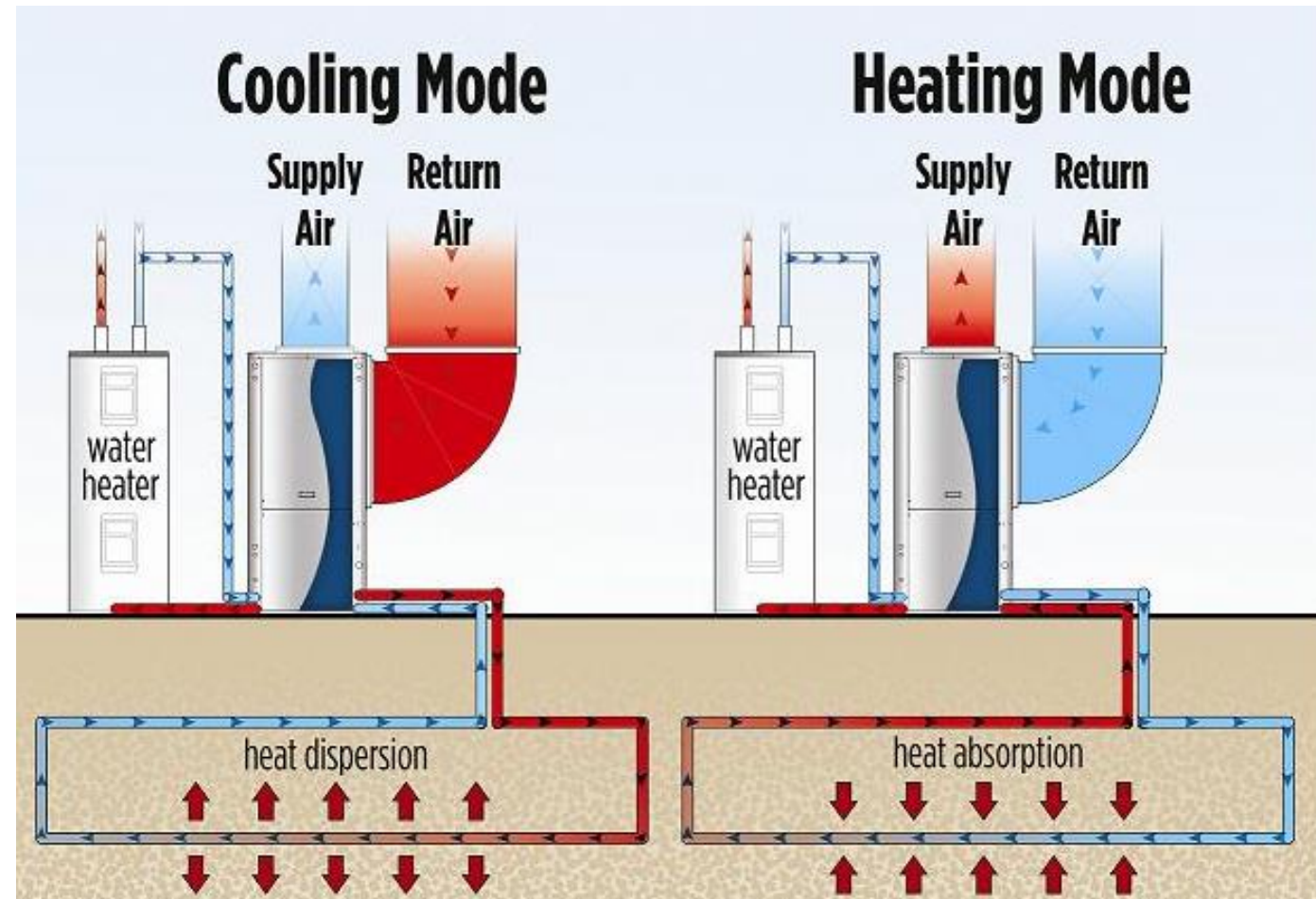
Noticias - Fabricantes de bombas de calor Powerworld, bombas de calor OEM y ODM. (2022). Consultado el 7 de noviembre de 2024, en <https://www.powerworld-e.com/content.php?id=205>

Calentador de agua con bomba de calor modular Daikin UHA075B5 a 300 000 rupias la unidad | Calentador de agua con bomba de calor en Calcuta | ID: 23824834988. (2024). Consultado el 7 de noviembre de 2024, en <https://www.indiamart.com/proddetail/daikin-uha075b5-modular-air-source-heat-pump-water-heater-23824834988.html>

1.4. TECNOLOGÍAS DE BOMBAS DE CALOR

Bombas de calor geotérmicas

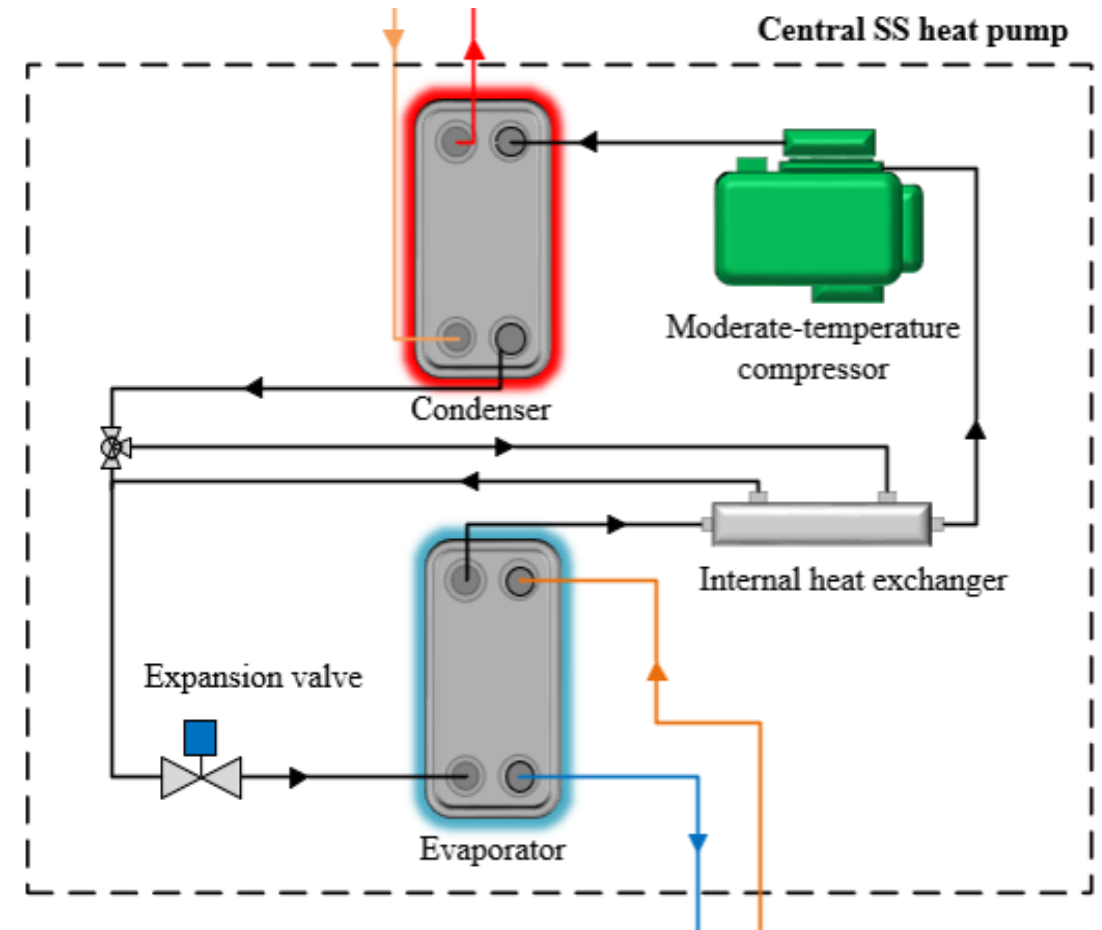
- Extraen calor del suelo a través de tuberías enterradas.
- Proporcionan calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria.
- Utilizan la temperatura estable del suelo como fuente o sumidero de calor.
- Alcanzan una alta eficiencia durante todo el año.
- Adecuadas para aplicaciones residenciales, comerciales e industriales.



1.4. TECNOLOGÍAS DE BOMBAS DE CALOR

Bombas de calor agua-agua

- Transfiere calor entre dos circuitos de agua.
- Utiliza aguas subterráneas, lagos, ríos o aguas de proceso como fuente o sumidero de calor.
- Proporciona calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria.
- Ofrece una alta eficiencia gracias a la temperatura estable de las fuentes de agua.
- Se utiliza habitualmente en sistemas residenciales, comerciales e industriales.

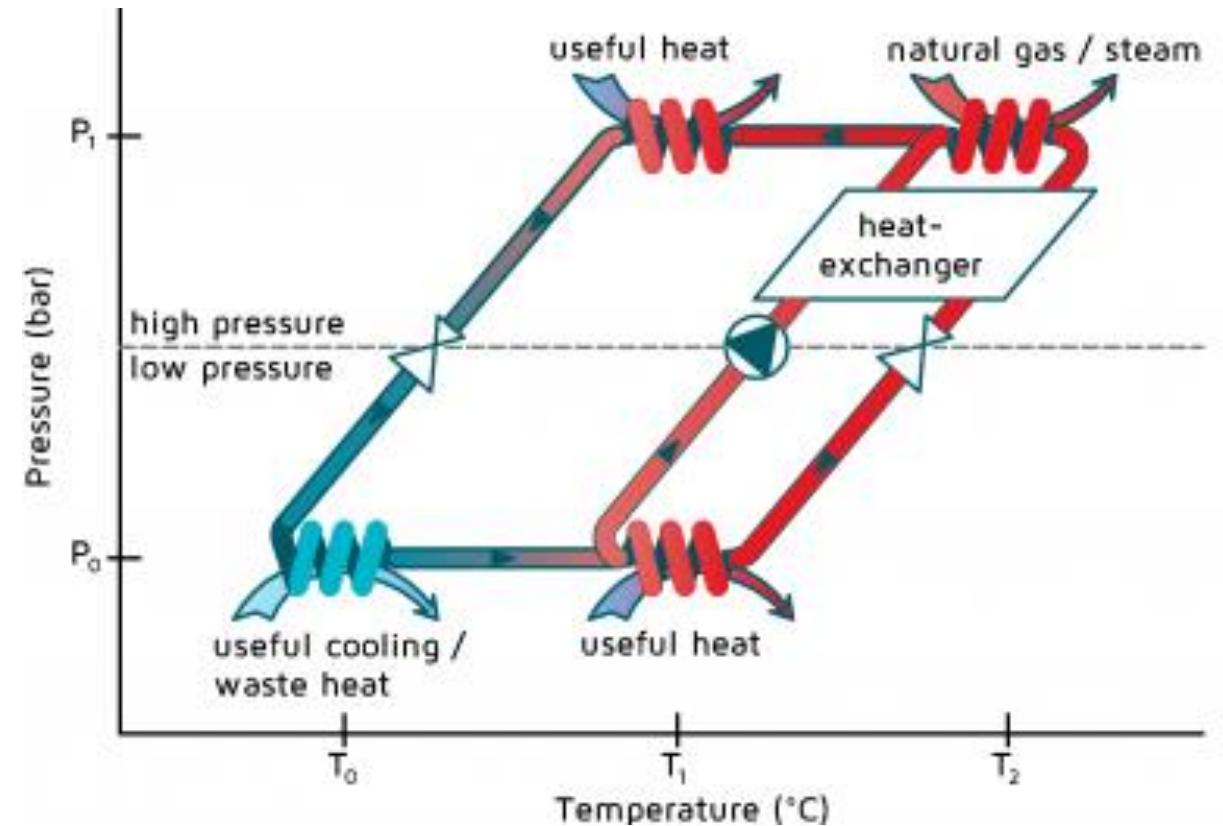


Alarnaot Alarnaout, G., Navarro-Esbrí, J. y Mota-Babiloni, A. (2024). Viabilidad operativa, económica y de huella de carbono de una bomba de calor de temperatura moderadamente alta como alternativa a las calderas convencionales en diversos escenarios. *Energy Conversion and Management*, 309, 118424. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118424>

1.4. TECNOLOGÍAS DE BOMBAS DE CALOR

Bombas de calor de absorción

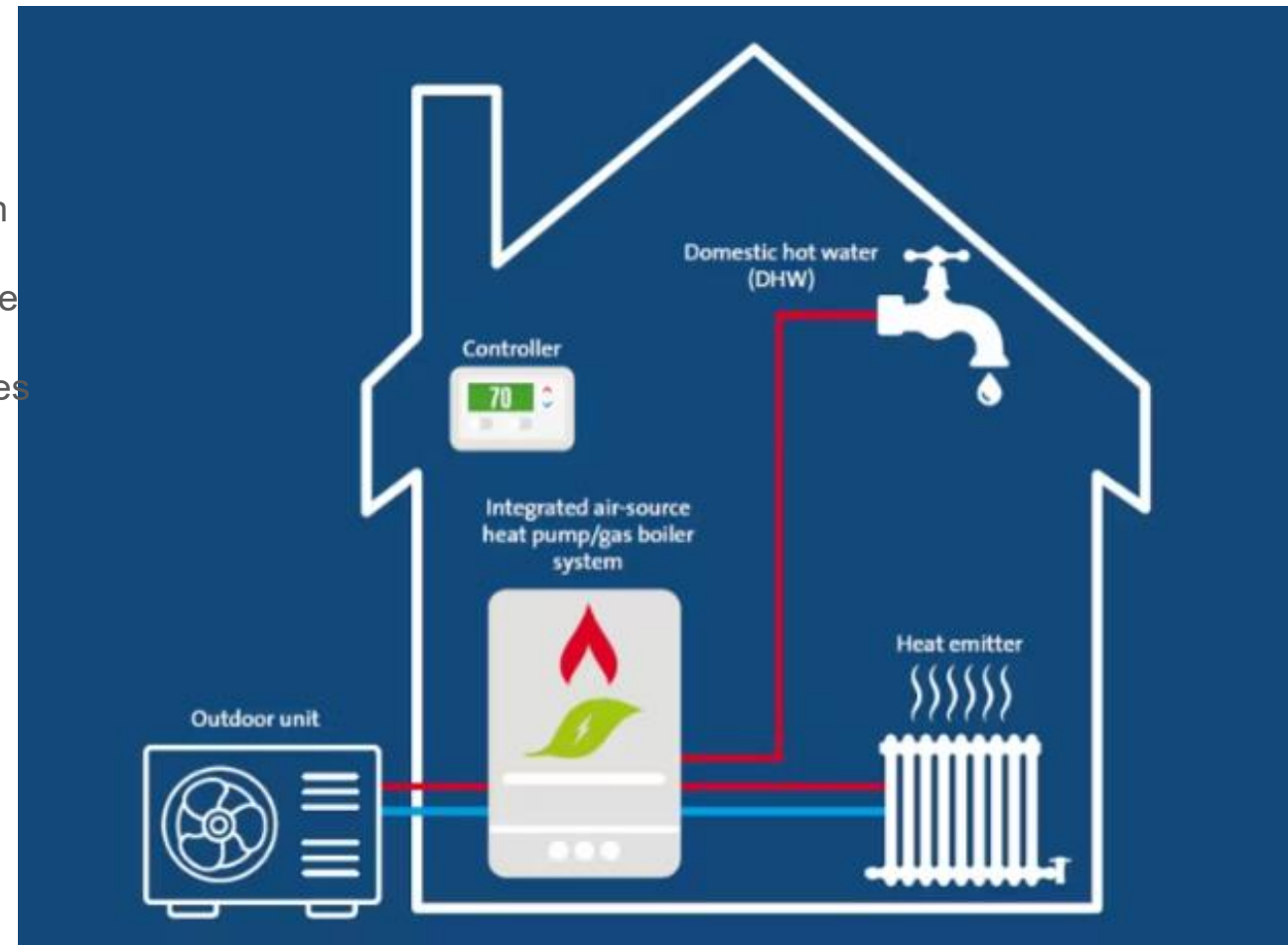
- Utiliza energía térmica en lugar de compresión mecánica para impulsar el ciclo.
- Emplea un par refrigerante-absorbente, como agua-bromuro de litio o amoníaco-agua.
- Elevan el calor residual a baja temperatura a una temperatura útil más alta.
- Adecuado para sistemas industriales de recuperación de calor residual y de cogeneración.
- Requiere un bajo consumo eléctrico en comparación con las bombas de calor de compresión de vapor.



1.4. TECNOLOGÍAS DE BOMBAS DE CALOR

Bombas de calor híbridas

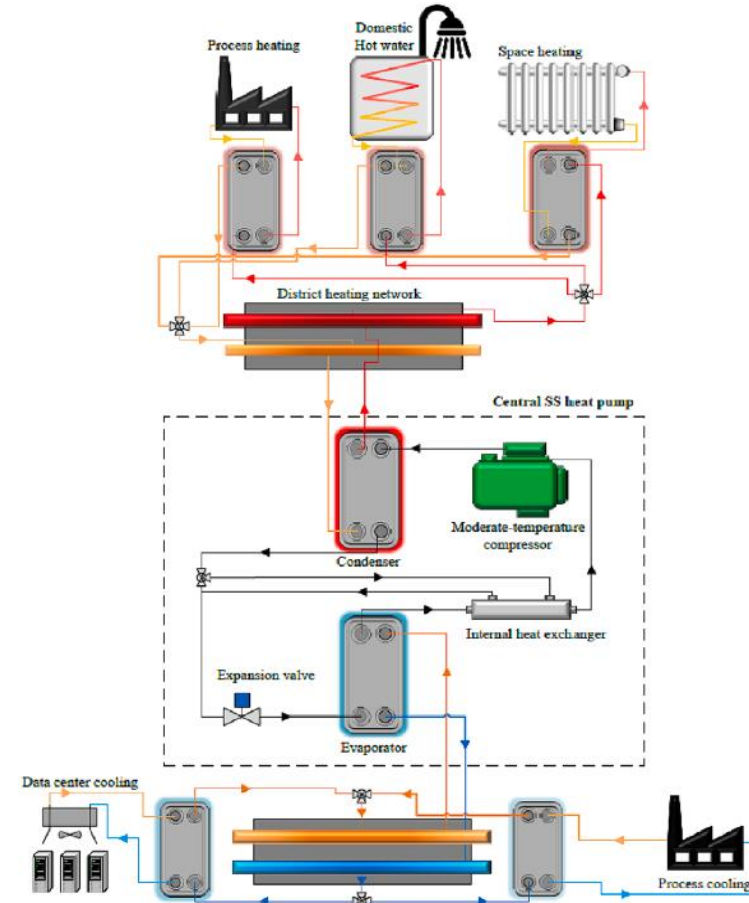
- Combinan una bomba de calor con un sistema de calefacción secundario (por ejemplo, una caldera).
- Cambian automáticamente de un sistema a otro en función de la eficiencia y la demanda.
- Optimiza el consumo energético dando prioridad a la fuente de calor más eficiente.
- Adecuado para edificios con cargas de calefacción variables o climas fríos.
- Mejora la fiabilidad y el rendimiento general del sistema.



1.4. TECNOLOGÍAS DE BOMBAS DE CALOR

Bombas de calor de doble uso

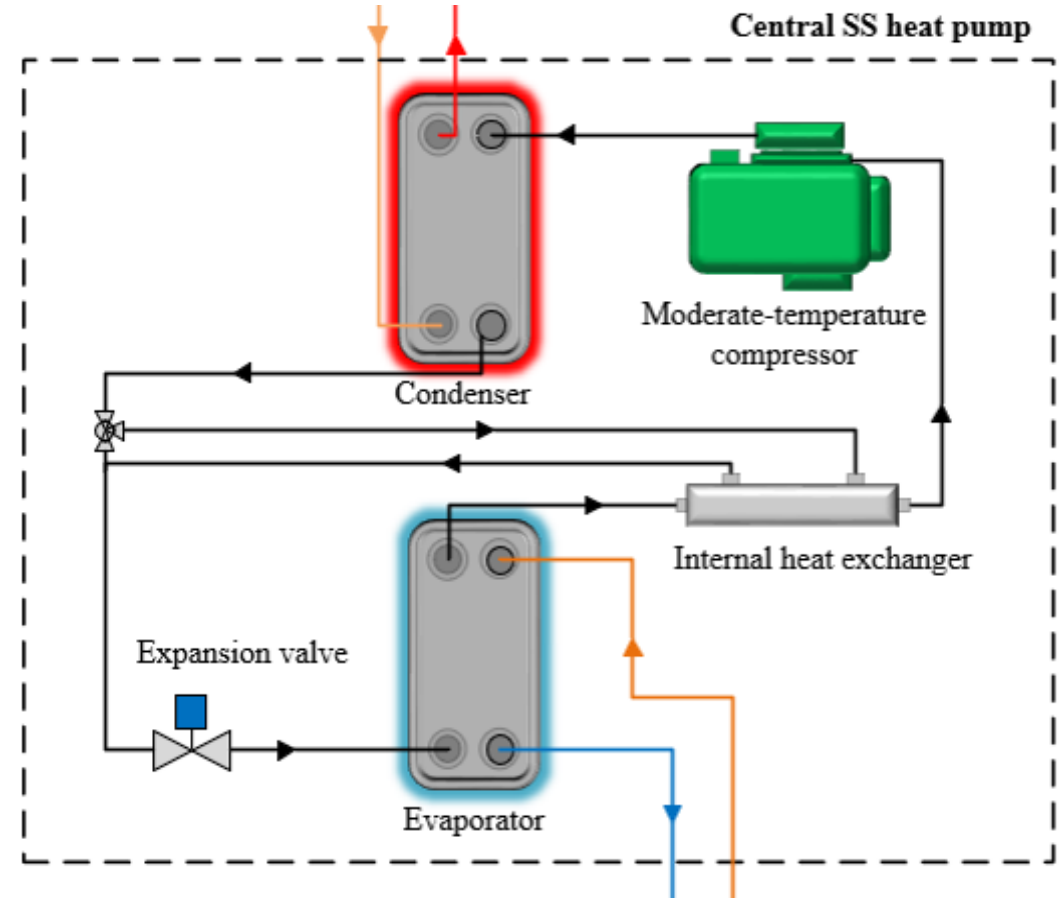
- Ofrece dos servicios, normalmente calefacción y refrigeración, mediante un único sistema.
- Puede suministrar simultáneamente climatización de espacios y agua caliente sanitaria o calor de proceso.
- Funciona recuperando y redistribuyendo el calor entre las diferentes salidas.
- Mejora la eficiencia general del sistema mediante la recuperación interna de calor.
- Es habitual en edificios comerciales, en sistemas de calefacción y agua caliente sanitaria (DHN) y de refrigeración y aire acondicionado (DCN), así como en sistemas integrados de climatización (HVAC).



1.4. TECNOLOGÍAS DE BOMBAS DE CALOR

Bombas de calor con inversor

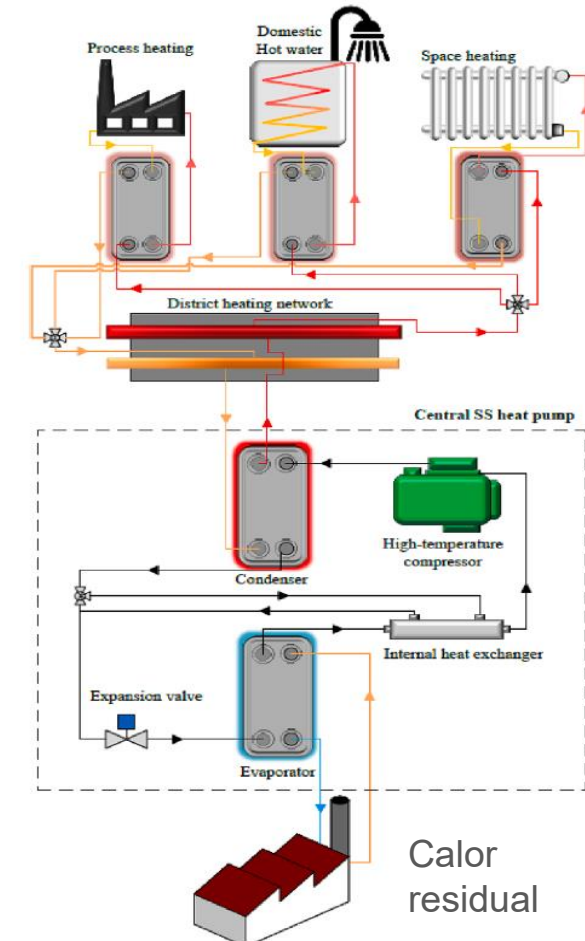
Funcionamiento: Las bombas de calor con inversor utilizan tecnología de inversor, lo que permite ajustar la velocidad del compresor en función de la demanda de calefacción o refrigeración. Esto permite que el sistema funcione de forma más eficaz en respuesta a condiciones variables.



1.4. TECNOLOGÍAS DE BOMBAS DE CALOR

Bombas de calor de residuos

- Recuperar el calor residual de baja calidad y elevarlo a una temperatura útil más alta.
- Utilizar un ciclo de compresión de vapor o un ciclo térmico.
- Mejorar la eficiencia energética global mediante la reutilización del calor residual de los procesos industriales.
- Adecuado para aplicaciones industriales, de redes de calefacción y de edificios.
- Reducir el consumo de combustible y las emisiones de gases de efecto invernadero.



Alarnaot Alarnaout, G., Navarro-Esbrí, J. y Mota-Babiloni, A. (2024). Viabilidad operativa, económica y de huella de carbono de una bomba de calor de temperatura moderadamente alta como alternativa a las calderas convencionales en diversos escenarios. *Energy Conversion and Management*, 309, 118424. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118424>

1.4. TECNOLOGÍAS DE BOMBAS DE CALOR

Clasificación de las bombas de calor: en función de la temperatura de producción

Las bombas de calor se clasifican en función de la temperatura del calor que producen, lo que determina su idoneidad para diferentes aplicaciones. La clasificación suele incluir:

- **Bombas de calor de baja temperatura (<45 °C)**
Temperatura de suministro típica: 30 °C - 45 °C (calefacción de espacios)
- **Bombas de calor de temperatura media (45 °C – 75/90 °C)**
Temperatura de suministro típica: 45 °C - 75 °C
- **Bombas de calor de alta temperatura (>75/90 °C)**
Temperatura de suministro habitual: 75 °C - 150 °C y más

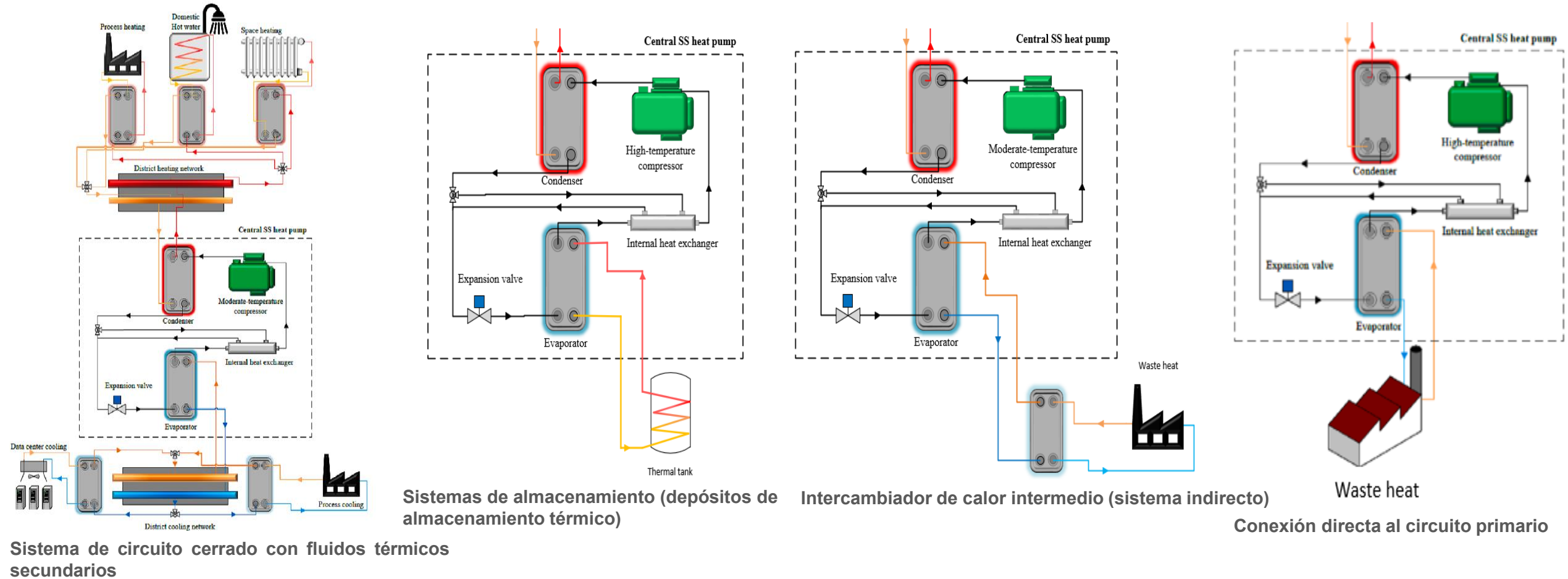
1.5. APLICACIÓN DE LAS BOMBAS DE CALOR EN EL CALOR RESIDUAL

Bombas de calor de recuperación de calor residual

Entre las aplicaciones más comunes de las bombas de calor para la recuperación de calor residual se incluyen:

- Destilerías
- Lavanderías industriales
- Sistemas de calefacción urbana con calor residual
- Supermercados (recuperación de calor de la refrigeración)
- Centros de datos
- Industria alimentaria y de bebidas (cerveceras, plantas lácteas, cámaras frigoríficas)
- Plantas químicas y petroquímicas
- Industria del papel y la pasta de papel
- Industria textil
- Procesamiento de metales y fundiciones
- Plantas de tratamiento de aguas residuales
- Hospitales y grandes centros sanitarios
- Hoteles y grandes edificios comerciales
- Pistas de hielo (recuperación de calor de los sistemas de fabricación de hielo)
- Centrales eléctricas y plantas de cogeneración

1.6. CONFIGURACIONES Y CONEXIONES DE LAS BOMBAS DE CALOR PARA DISTINTAS FUENTES DE CALOR RESIDUAL

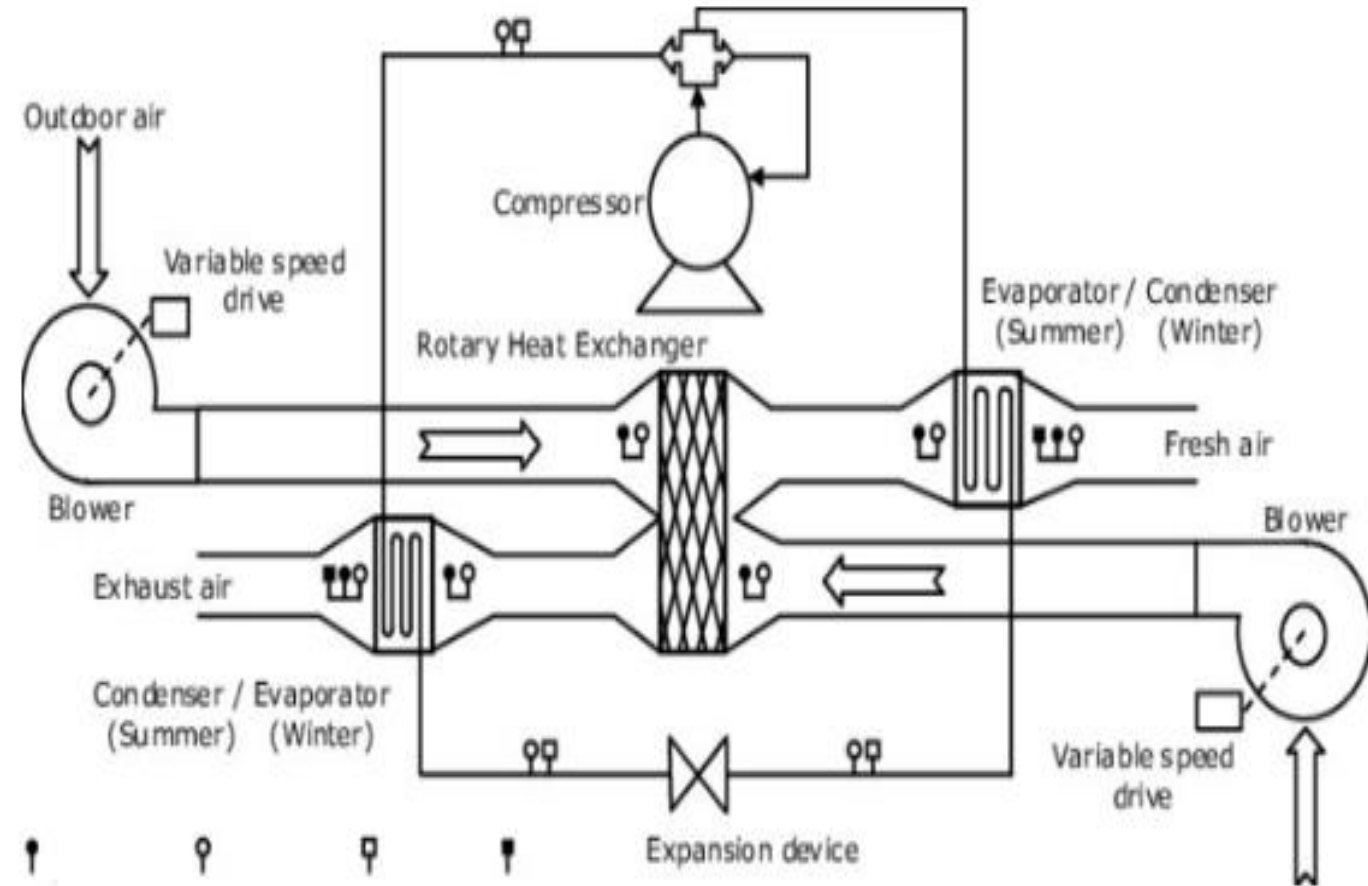


Alarnaut Alarnaut, G., Navarro-Esbrí, J. y Mota-Babiloni, A. (2024). Viabilidad operativa, económica y de huella de carbono de una bomba de calor de temperatura moderadamente alta como alternativa a las calderas convencionales en diversos escenarios. *Energy Conversion and Management*, 309, 118424. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118424>

1.6. CONFIGURACIONES Y CONEXIONES DE LAS BOMBAS DE CALOR PARA DISTINTAS FUENTES DE CALOR RESIDUAL

Integración con flujos de aire o gas

- Integración con sistemas de aire de ventilación para la recuperación de calor en aplicaciones de climatización.
- Uso de corrientes de aire de salida (por ejemplo, de edificios o procesos industriales) como fuente de calor.
- Recuperación de calor de los gases de combustión en calderas, hornos y sistemas de combustión.
- Precalentamiento del aire fresco entrante mediante sistemas de bomba de calor para reducir la demanda de calefacción.
- Es habitual en la ventilación con recuperación de energía (ERV) y en las unidades industriales de tratamiento de aire.



1.7. ESTUDIO DE CASO SOBRE BOMBAS DE CALOR QUE UTILIZAN CALOR RESIDUAL

Proyecto Aurivo (un caso práctico en Finlandia)

Logros:

- Primera planta de Irlanda en utilizar agua a 80 grados generada por bombas de calor.
- Reducción de las emisiones de carbono en 780 toneladas al año.
- Reducción del 8 % en el consumo eléctrico de las instalaciones.



1.7. ESTUDIO DE CASO SOBRE BOMBAS DE CALOR QUE UTILIZAN CALOR RESIDUAL

Estudio de caso de tres instalaciones industriales de bombas de calor en funcionamiento en Canadá.

Datos económicos

Se utilizaron tres instalaciones diferentes de bombas de calor alimentadas con calor residual para reducir el coste energético en las distintas instalaciones:

	Fabricante de aceite	Fabricante de productos lácteos	Mina
Consumo de energía eléctrica (kW)	97	103	60
Coeficiente de rendimiento	5,4	3,8	5,3 4,5
Coste eléctrico (\$/kWh)	0,0322	0,028	0,038
Tiempo de funcionamiento (h/año)	4021	1800	-
Ahorro de costes (\$)	97 690	21 290	-
Coste de instalación (\$)	224 096	101 077	150 643
Amortización simple	2,29	4,75	-

1.7. ESTUDIO DE CASO SOBRE BOMBAS DE CALOR QUE UTILIZAN CALOR RESIDUAL

Estudio de caso sobre bombas de calor a gran escala en la modernización del sistema de calefacción urbana de Viena, Austria.

Especificaciones técnicas

Área de instalación	Viena, Austria
Aplicaciones del proceso	Recuperación de calor residual (agua y electricidad)
Potencia térmica	40 MW
Equivalencia de capacidad de calefacción	25 000 hogares
Fabricante de bombas de calor	Friotherm
Puesta en servicio	2018



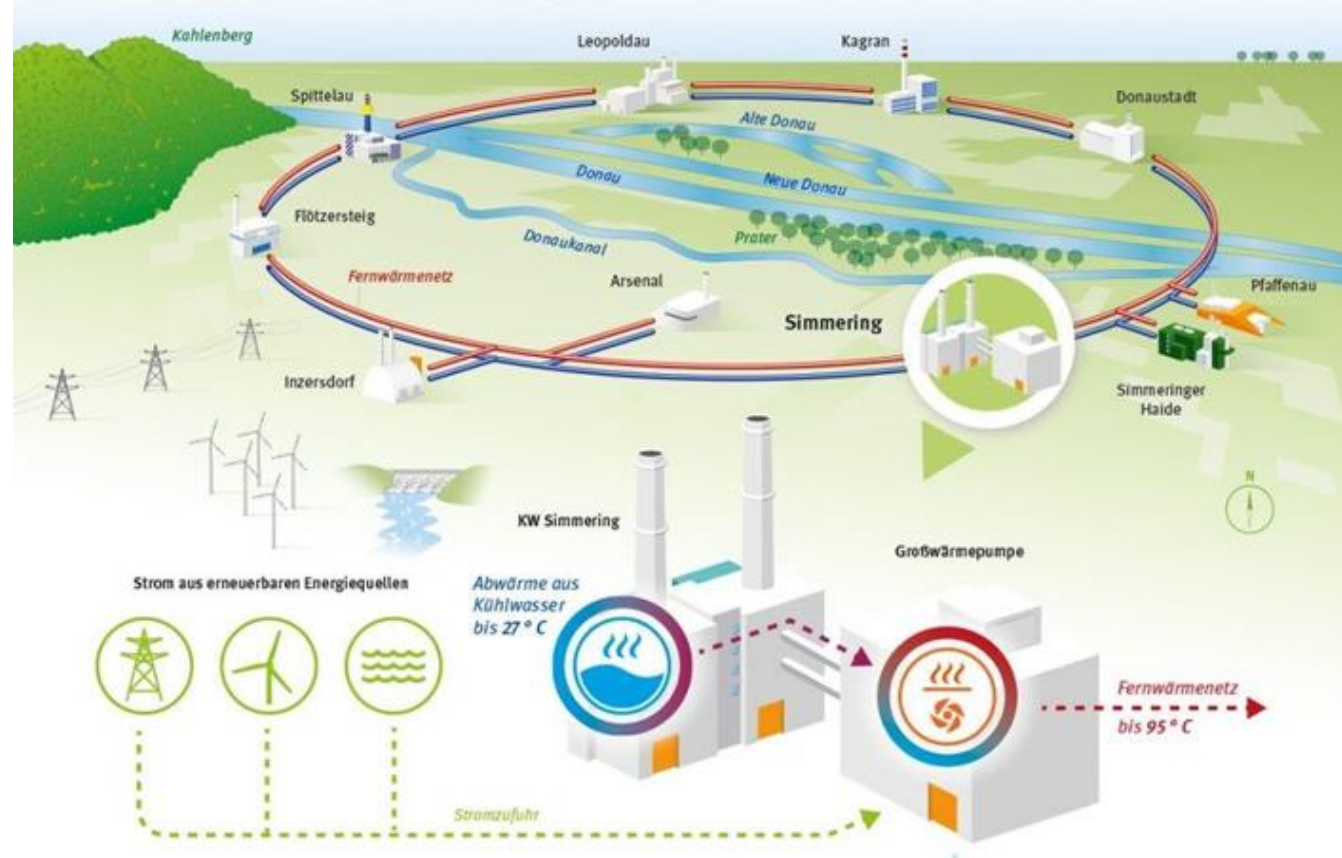
CEE Bankwatch Network. (Mayo de 2022). Calefacción urbana en Viena: un estudio de caso sobre el camino hacia la neutralidad climática. https://bankwatch.org/wp-content/uploads/2022/05/2022-05_Case-study-Vienna_eng.pdf

1.7. ESTUDIO DE CASO SOBRE BOMBAS DE CALOR QUE UTILIZAN CALOR RESIDUAL

Estudio de caso sobre bombas de calor a gran escala en la modernización del sistema de calefacción urbana de Viena, Austria.

- La bomba de calor más grande de Europa Central (Viena)
- Inversión de 15 millones de euros por parte de Wien Energy
- Calienta 25 000 hogares utilizando el calor residual del Canal del Danubio
- Suministra calefacción urbana a una temperatura de entre 100 y 150 °C

Großwärmepumpe am Standort Simmering





¡Gracias!

Módulo 3.2 – Aprovechamiento del calor residual y bombas de calor

SHaKE – Intercambio de calor y conocimientos sobre comunidades energéticas

<https://www.shakeproject-dhc.eu/>

Desarrollado por la Universitat Jaume I de Castellón y la Universidad de Tecnología y Economía de Budapest

Dr. Adrián Mota-Babiloni | mota@uji.es

Ghad Alarnaot-Alarnaout | alarnaot@uji.es

Balázs Bokor | bokor.balazs@gpk.bme.hu



Co-funded by
the European Union

