

Módulo 4: Refrigeración urbana

Producción combinada de calor y frío,
tecnologías de producción de frío

SHaKE – Intercambio de calor y conocimientos sobre
comunidades energéticas

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

Institución responsable: Universitat Jaume I de Castellón

Autores: Dr. Adrián Mota-Babiloni y Ghad Alarnaot-Alarnaout

Fecha: mayo de 2026

Versión 1.1



SHaKE

Sharing Knowledge on Energy Communities



ÍNDICE

1. Producción combinada de calor y frío

1.1. Principios de calefacción y refrigeración

1.2. Aplicaciones de calefacción y refrigeración simultáneas

1.3. Tecnología de bombas de calor y enfriadoras

1.4. Tecnología actual de las bombas de calor para la producción simultánea de calefacción y refrigeración

1.5. Integración de bombas de calor, configuraciones y refrigerantes

1.6. Calor residual y renovable

1.7. Conclusión

1.8. Ejemplo de producción combinada de calor y frío

2. Tecnologías de producción de frío

2.1. Enfriadoras

2.2. Máquinas de refrigeración por absorción

2.3. Almacenamiento de energía térmica

2.4. Combinación de sistemas de accionamiento mecánico y sistemas de absorción accionados por energía térmica

2.5. Conclusiones

2.6. Ejemplo de tecnologías de producción de frío

3. Refrigerantes

3.1. Introducción a los refrigerantes

3.2. Historia y evolución

3.3. Clasificaciones y designaciones de seguridad

3.4. Impacto medioambiental

3.5. Refrigerantes actuales y sus aplicaciones

3.6. El futuro de los refrigerantes

3.7. Conclusiones

4. Aspectos económicos y medioambientales

4.1. Introducción a los aspectos económicos y medioambientales

4.2. Densidad de la demanda

4.3. Viabilidad de la refrigeración urbana en comparación con otras tecnologías

4.4. Impacto medioambiental de la refrigeración urbana

4.5. Optimización de las tecnologías de refrigeración urbana

5. Proyectos realizados y casos prácticos

5.1. DHC Barrio La Pinada (Valencia, España)

5.2. Sistema combinado de calefacción y refrigeración de Barcelona (España)

5.3. DCN: Recuperación de energía frigorífica a partir de la vaporización de gas natural licuado (Italia)

5.4. Conclusión

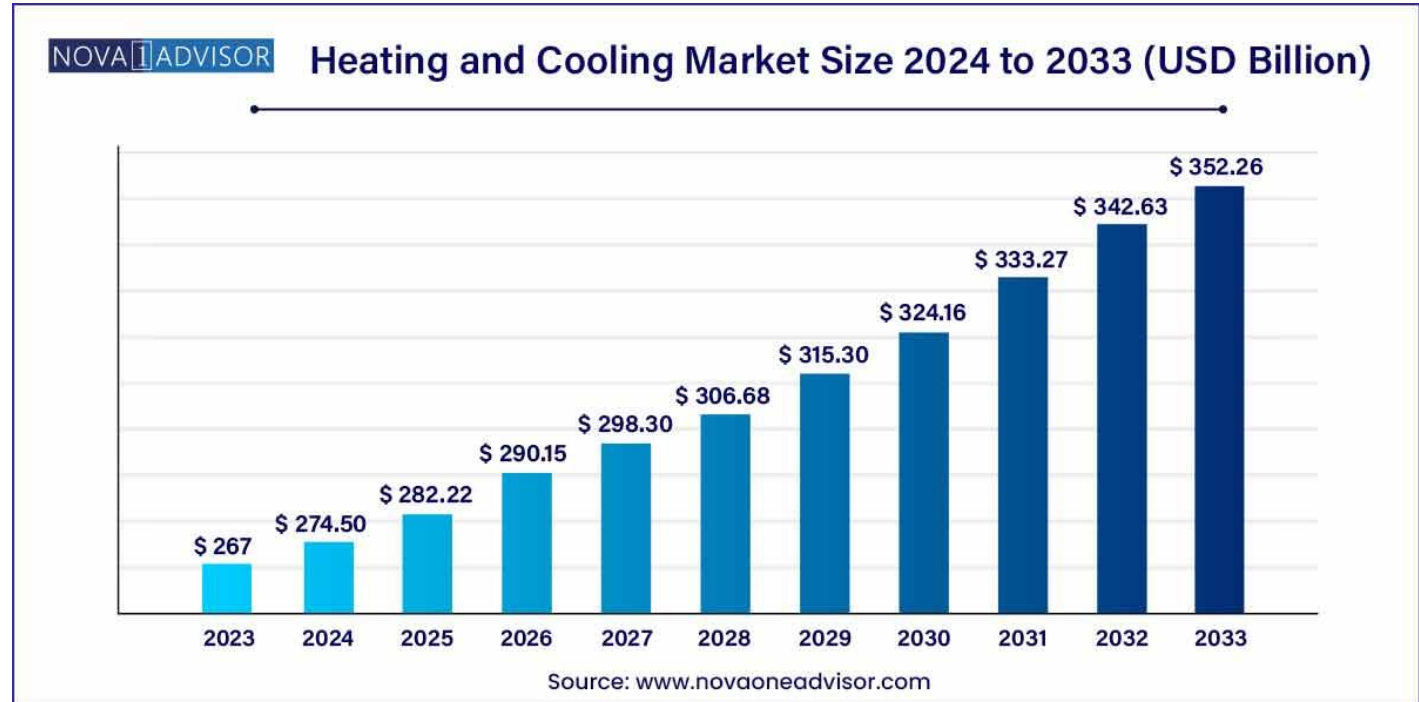
1. PRODUCCIÓN COMBINADA DE CALOR Y FRÍO



1.1. PRINCIPIOS DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

Introducción

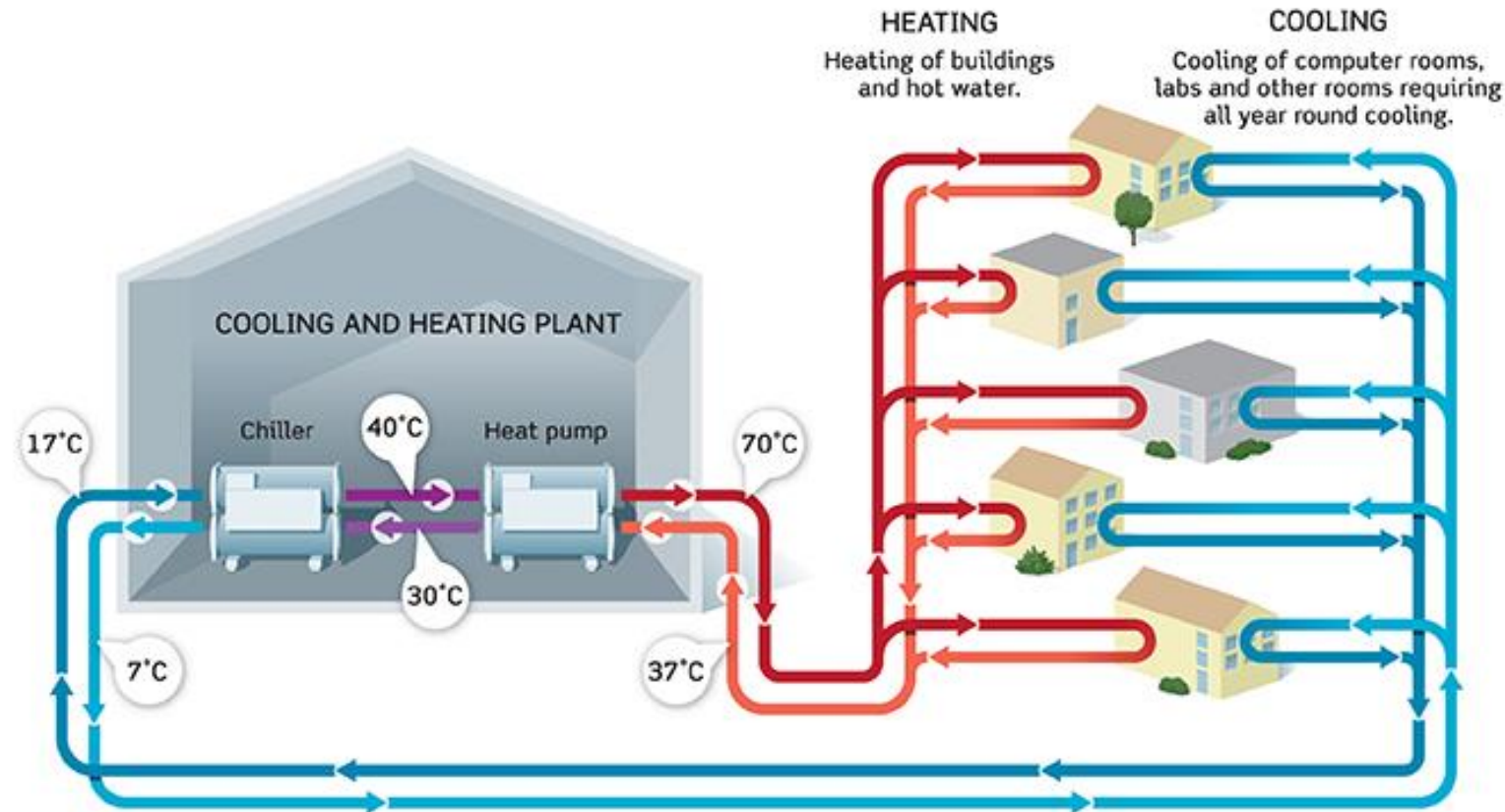
- La calefacción y la refrigeración son esenciales para el confort tanto en invierno como en verano.
- Los edificios necesitan calefacción para el suministro de agua caliente, normalmente a diferentes temperaturas.
- Los mayores consumidores de calefacción y refrigeración se encuentran en el sector industrial.
- La refrigeración también es crucial en el procesamiento, el almacenamiento y el transporte de alimentos.
- Las necesidades de temperatura varían enormemente: la refrigeración puede llegar hasta los -150°C , y la calefacción puede alcanzar los 1000°C .



1.1. PRINCIPIOS DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

Introducción

- Factores técnicos clave: durabilidad, mantenimiento, simplicidad, tamaño y seguridad.
- La eficiencia cobra cada vez más importancia por razones económicas y medioambientales.
- Las redes de calefacción y refrigeración urbanas mejoran la eficiencia y el rendimiento económico.
- Distribuyen calor o frío desde fuentes centrales o distribuidas.
- Estas redes optimizan el rendimiento de las bombas de calor y las enfriadoras.
- Pueden utilizarse para precalentar o preenfriar fuentes o sumideros.

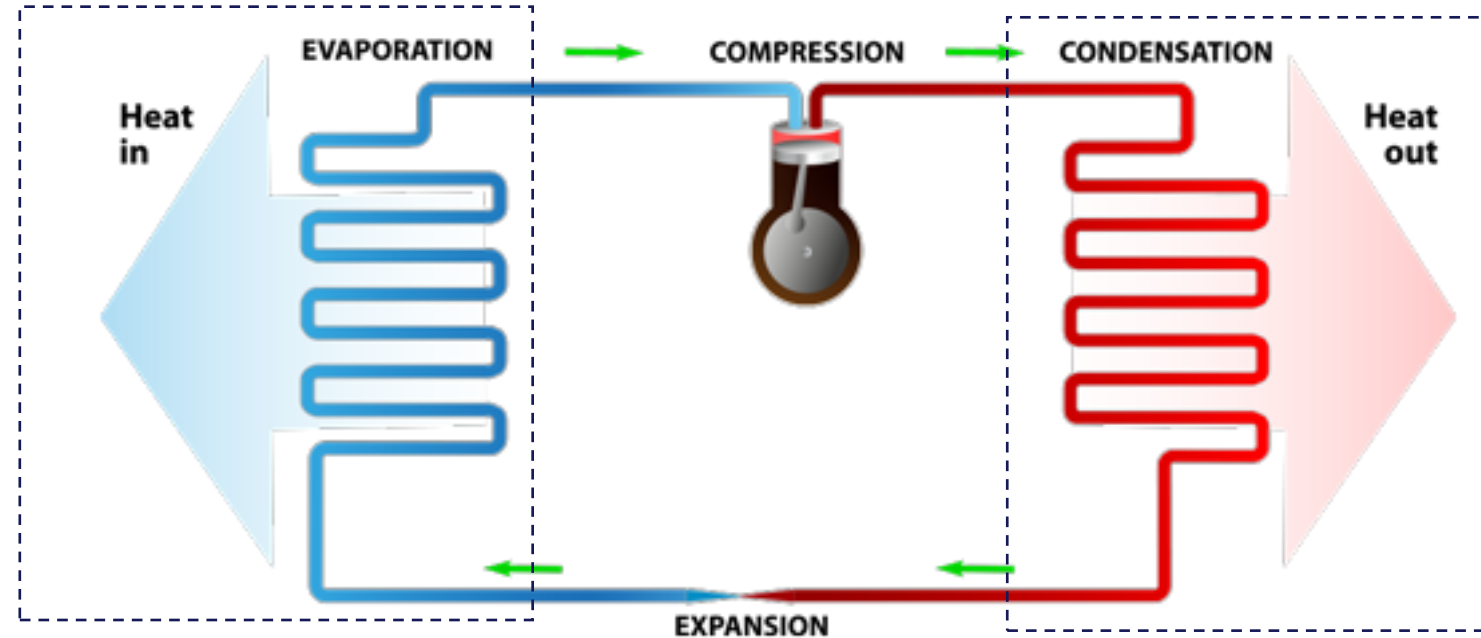


Conexiones de DCN y DHN

1.1. PRINCIPIOS DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

Tipo de funcionamiento de las bombas de calor

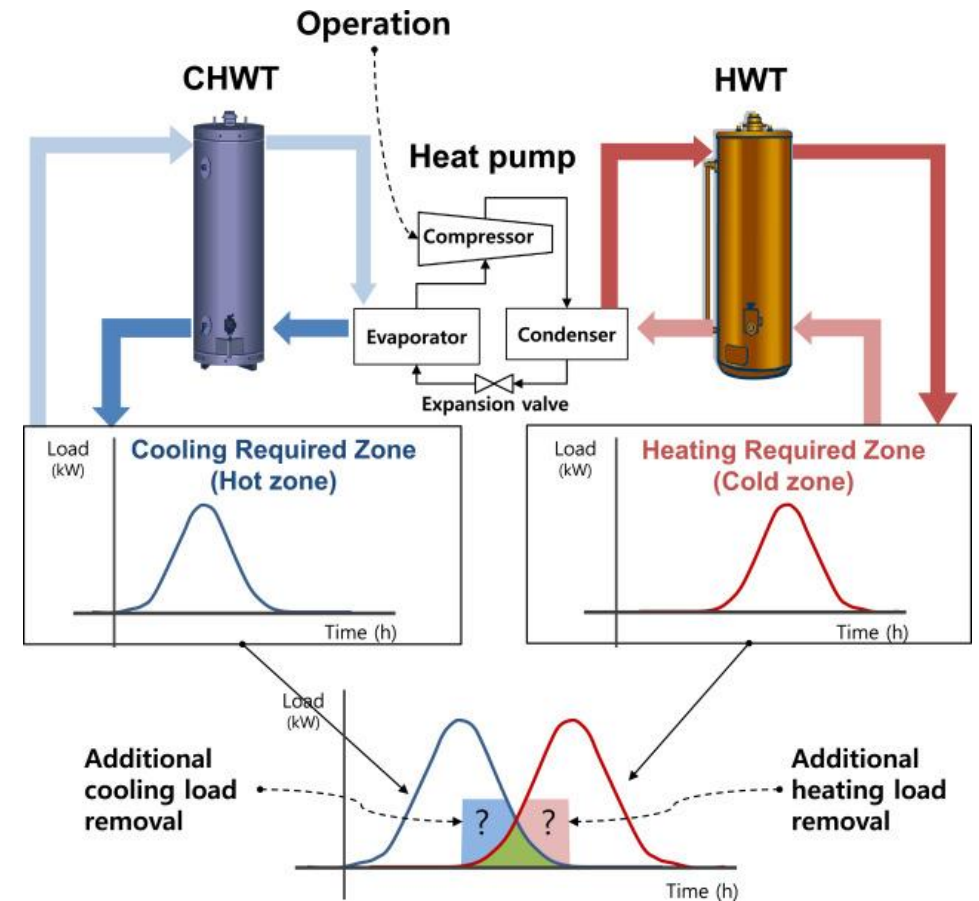
- Calefacción: extrae calor de una fuente y lo eleva a un nivel de temperatura útil
- Refrigeración: elimina el calor no deseado y lo expulsa hacia un disipador de calor
- Calefacción y refrigeración simultáneas: recupera el calor de los procesos de refrigeración para satisfacer las necesidades de calefacción
- Ventaja: Maximiza la eficiencia energética al aprovechar la energía térmica que, de otro modo, se desperdiciaría



1.2. APLICACIONES DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN SIMULTÁNEAS

Principio de calefacción y refrigeración simultáneas (SHC)

- El calor se extrae del lado de refrigeración (evaporador). El compresor eleva el calor recuperado a un nivel de temperatura más alto
- Se generan simultáneamente refrigeración y calefacción útiles
- El calor recuperado se destina a satisfacer las necesidades de calefacción, en lugar de ser expulsado al medio ambiente



1.2. APLICACIONES DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN SIMULTÁNEAS

Ventajas de los sistemas SHC

- **Eficiencia energética:** al recuperar y reutilizar el calor residual, los sistemas SHC reducen significativamente el consumo de energía en comparación con los sistemas independientes de calefacción y refrigeración.
- **Reducción de la huella de carbono:** El aprovechamiento del calor residual minimiza la dependencia de los combustibles fósiles, lo que reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Ahorro económico:** Compartir la infraestructura de calefacción y refrigeración reduce los costes de capital y de explotación de la red.
- **Flexibilidad:** Los sistemas SHC se adaptan a las diferentes demandas de calefacción y refrigeración, lo que los hace ideales para desarrollos de uso mixto (por ejemplo, zonas residenciales, comerciales e industriales).
- **Gestión de picos de carga:** Los sistemas SHC suavizan los picos de demanda energética al satisfacer simultáneamente las necesidades tanto de calefacción como de refrigeración.

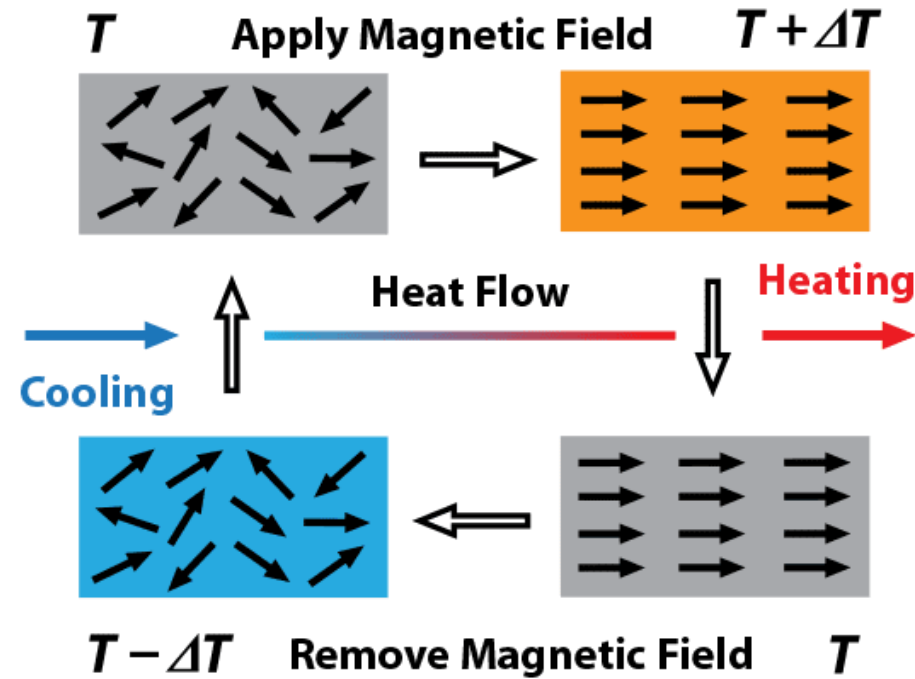
Retos de los sistemas SHC

- **Inversión inicial:** Elevados costes iniciales de infraestructura y sistemas de bombas de calor.
- **Diseño complejo del sistema:** Requiere una ingeniería y un dimensionamiento precisos para equilibrar las cargas simultáneas de calefacción y refrigeración.
- **Almacenamiento de energía:** Es fundamental contar con sistemas TES eficaces para gestionar los desajustes entre las demandas de calefacción y refrigeración a lo largo del tiempo.
- **Integración con energías renovables:** La combinación de los sistemas SHC con fuentes de energía renovables (por ejemplo, energía solar térmica o geotérmica) puede mejorar la sostenibilidad, pero requiere una planificación cuidadosa.
- **Control:** La calefacción y la refrigeración deben consumirse, transportarse, almacenarse o disiparse en todo momento para lograr un control adecuado de las temperaturas.

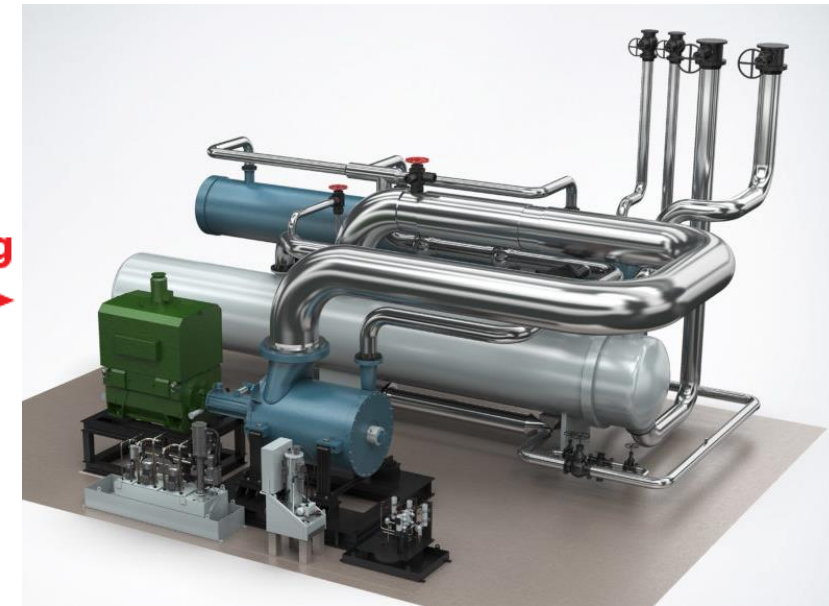
1.3. TECNOLOGÍA PARA BOMBAS DE CALOR Y ENFRIADORAS

Tecnologías emergentes y tendencias futuras

1. Refrigerantes naturales
2. Bombas de calor de alta temperatura
3. Digitalización e Internet de las cosas
4. Refrigeración termoeléctrica y magnetocalórica
5. Sistemas híbridos
6. Integración con sistemas de energía de distrito



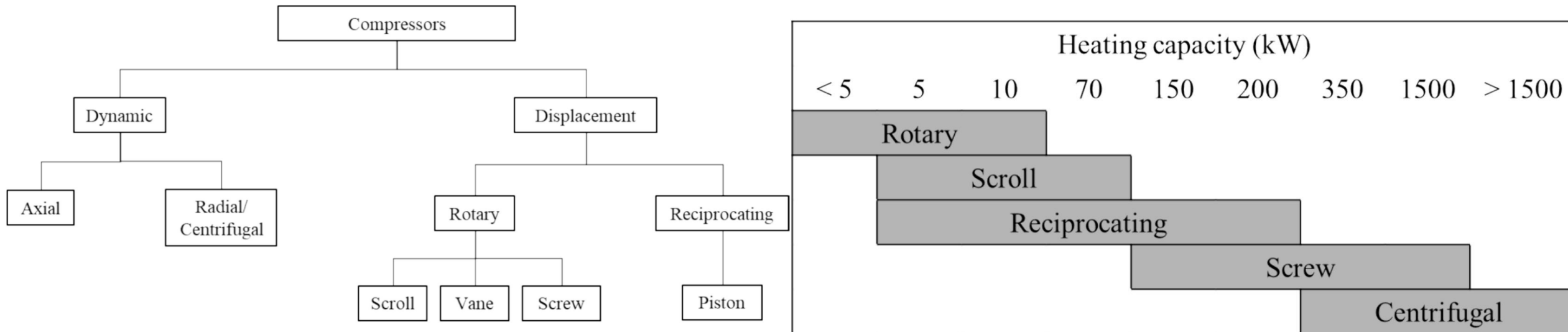
Bomba de calor/enfriador magnetocalórico



Bomba de calor de alta temperatura

1.4. TECNOLOGÍA ACTUAL

Compresores

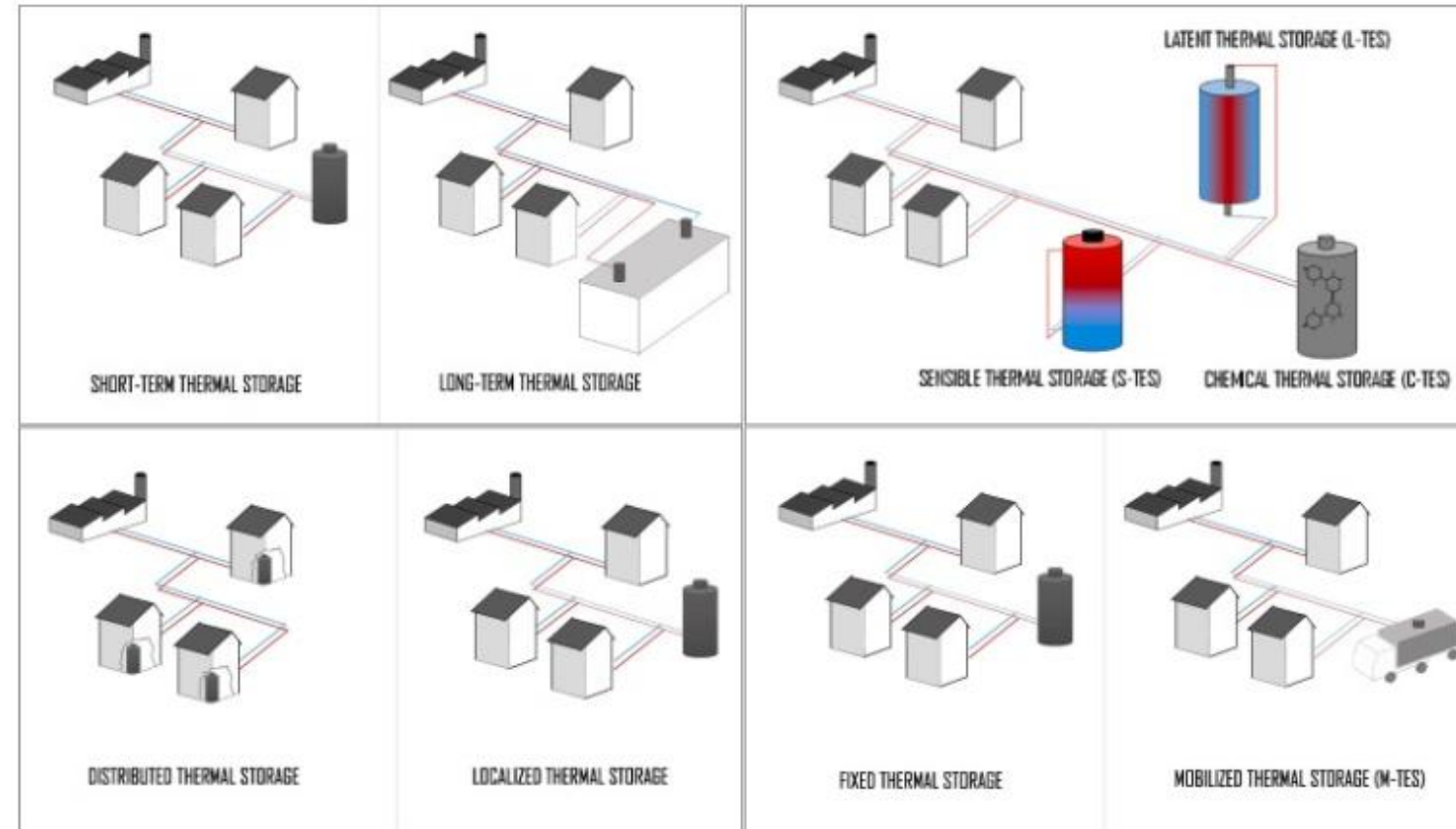


1.4. TECNOLOGÍA ACTUAL

Almacenamiento de energía térmica

1. Almacenamiento térmico a corto y largo plazo
2. Almacenamiento térmico sensible, latente y químico
3. Almacenamiento térmico distribuido/localizado
4. Almacenamiento térmico fijo/móvil

TES used in DH systems can be classified on the basis of different criteria

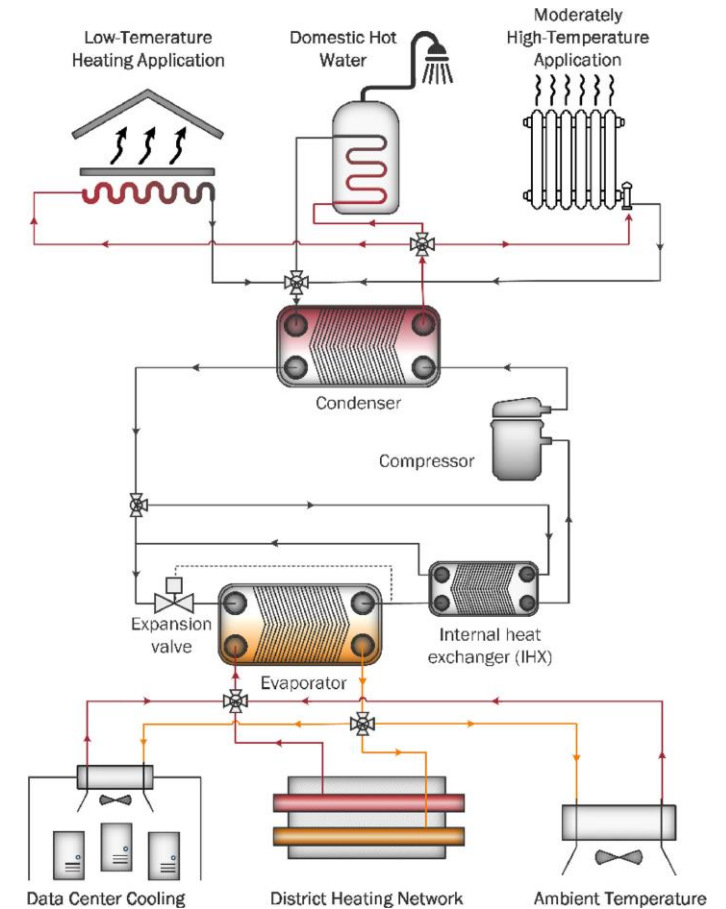


1.5. INTEGRACIÓN

Posibilidades de integración

Combinación de los consumos de calefacción y refrigeración urbanos e industriales mediante una bomba de calor con posibilidad de producción simultánea.

	Application	Temperature Range	Traditional Technology
Heat source	Ambient air	0 – 30 °C (15 °C)	Several technologies
	Data cooling center	20 – 50 °C (35 °C)	R-410A based cooling technology
	Low-temperature district heating	40 – 70 °C (55 °C)	Mix technologies (waste-to-heat, gas boiler, coal, etc.)
Heat sink	Low-temperature space heating	35 – 50 °C	Solar, electric or gas boiler
	Domestic hot water	45 – 65 °C	Electric or gas boiler
	Industrial processes / Heating radiators	75 – 90 °C	Centralised gas burned system



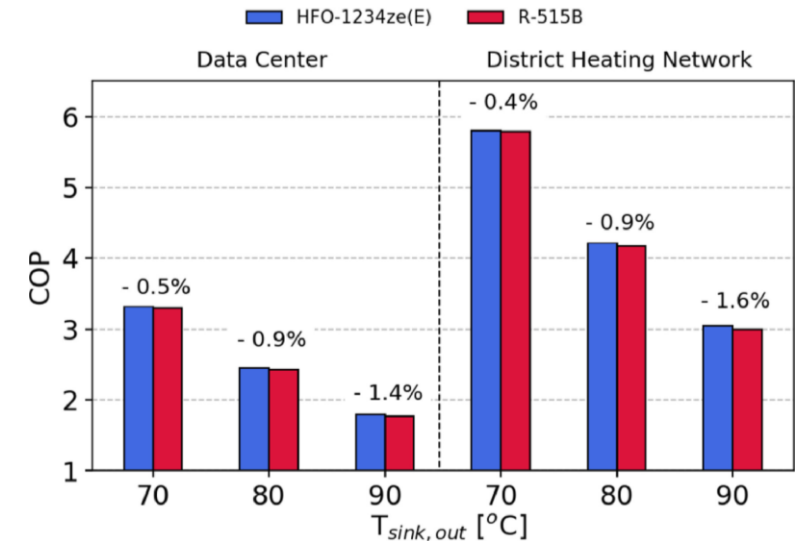
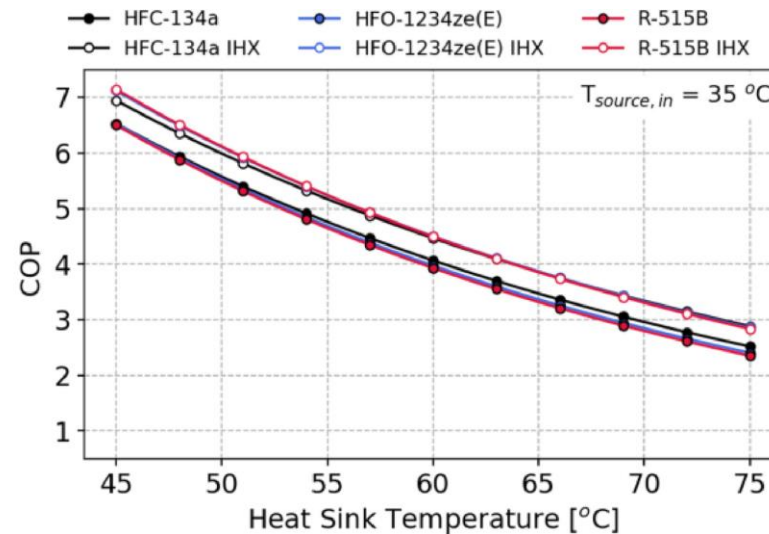
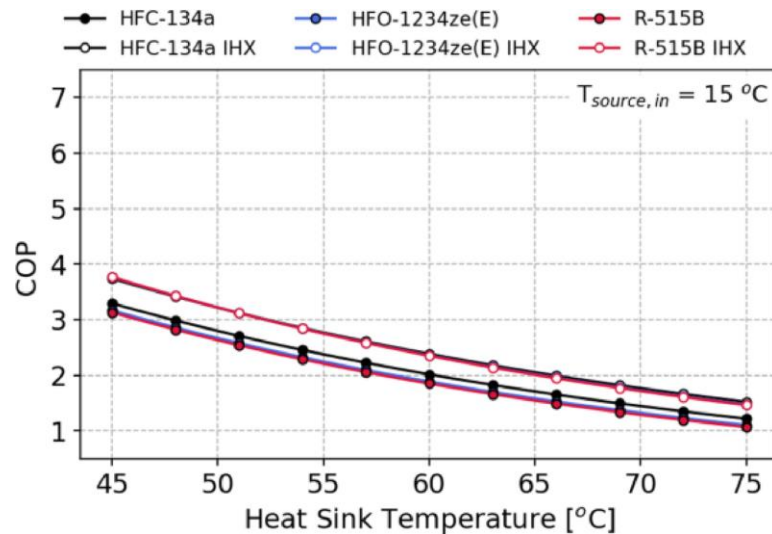
1.5. INTEGRACIÓN

Influencia de las temperaturas de funcionamiento

Dependiendo de la temperatura del sumidero de calor y de la fuente de calor, el COP variará significativamente.

El COP representa los kW de calefacción o refrigeración por cada kW de electricidad consumida.

Un COP más alto supone un menor consumo de energía, menores costes operativos y menores emisiones de CO₂ (un mayor potencial de descarbonización).

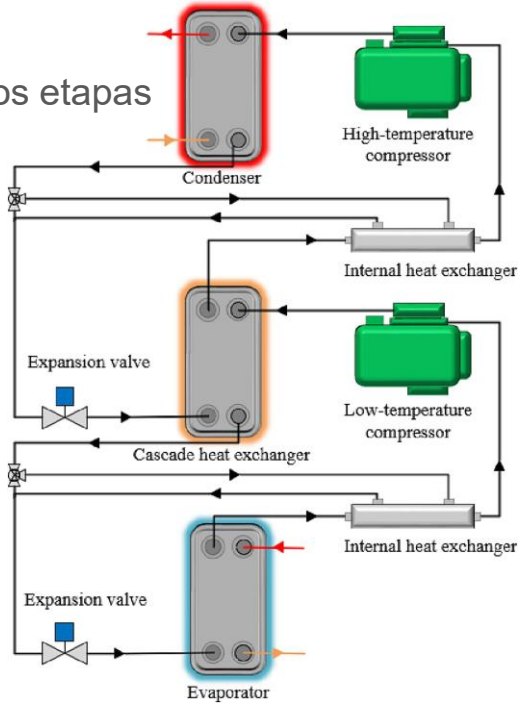


1.5. INTEGRACIÓN

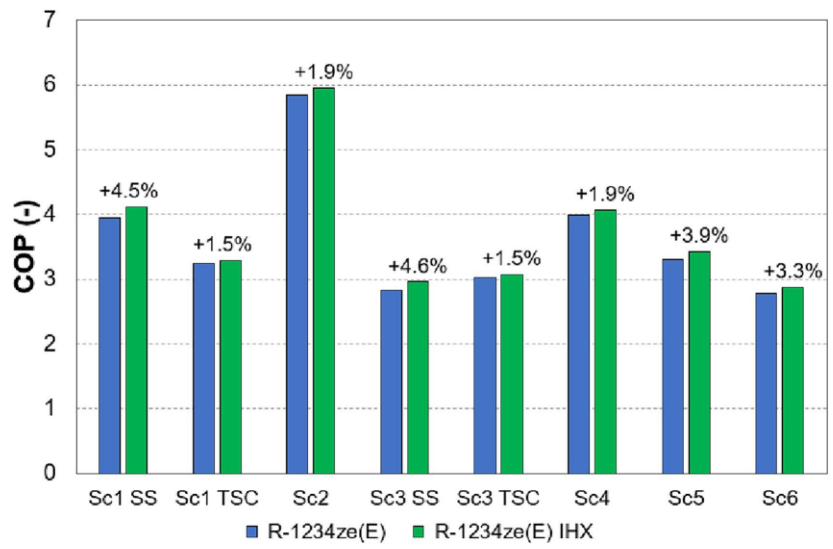
Combinación con redes de calefacción urbana (DHN), redes de refrigeración urbana (DCN) y procesos industriales: perspectiva energética

Una mayor diferencia entre el sumidero de calor y la fuente de calor requerirá más de una etapa en el ciclo de compresión de vapor de la bomba de calor. Además, el intercambiador de calor interno puede mejorar el rendimiento energético, dependiendo del refrigerante y de la aplicación.

Cascada de dos etapas



Scenarios	T _o (°C)	T _k (°C)	Configuration of cycle	Process	Configuration of the connection
Scenario 1	30	80	SS/TSC	Industrial (cooling dissipation water) and heat supply (conventional boiler substitute) supply heat to 4G District Heating Network (DHN).	C_HP_DHN
Scenario 2	30	65	SS	Cooling dissipation water (heat recovery) and supply heat to 4G District Heating Network (DHN).	C_HP_DHN
Scenario 3	2	65	SS/TSC	Simultaneous production of DHN heating (70–40 °C) and DCN cooling (17–7 °C) 4G.	C_HP_DHC
Scenario 4	2	45	SS	Simultaneous production of DHN heating (47–40 °C) and DCN cooling (17–7 °C) 4G.	C_HP_DHC
Scenario 5	50	90	SS	Heat production (conventional boiler substitute) sourced from DHN (70–40 °C) 4G.	L_HP_DHN
Scenario 6	10	90	TSC	Heat production (conventional boiler substitute) sourced from DHN (<40 °C) 5G.	L_HP_DHN

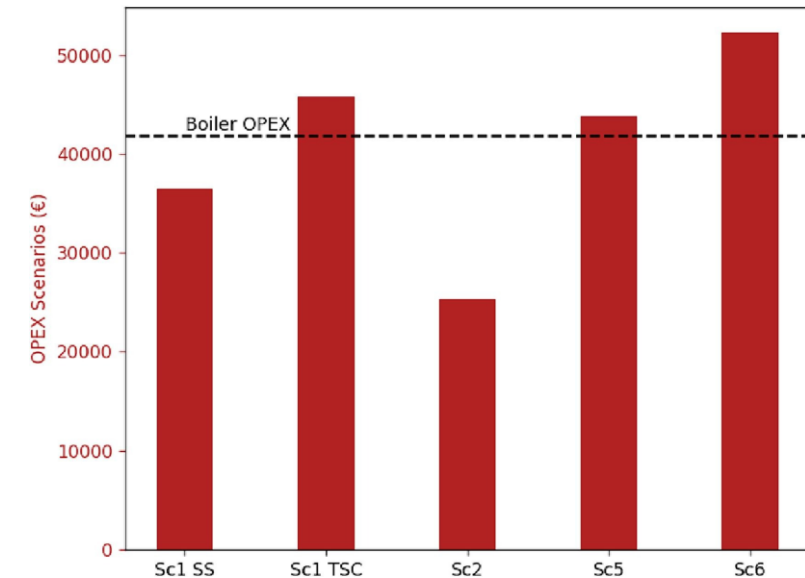
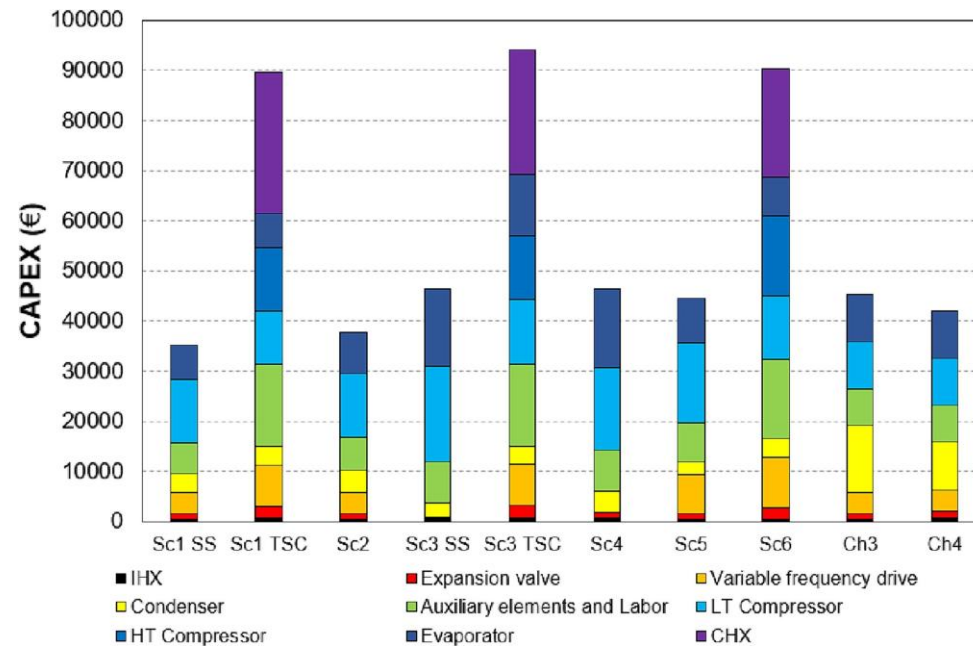


Ghad Alarnaot Alarnaout, Joaquín Navarro-Esbrí, Adrián Mota-Babiloni, «Viabilidad operativa, económica y de huella de carbono de una bomba de calor de temperatura moderadamente alta como alternativa a las calderas convencionales en diversos escenarios», *Energy Conversion and Management*, volumen 309, 2024, 118424, ISSN 0196-8904, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118424>.

1.5. INTEGRACIÓN

Combinación con redes de calefacción urbana (DHN), redes de refrigeración urbana (DCN) y procesos industriales: perspectiva económica

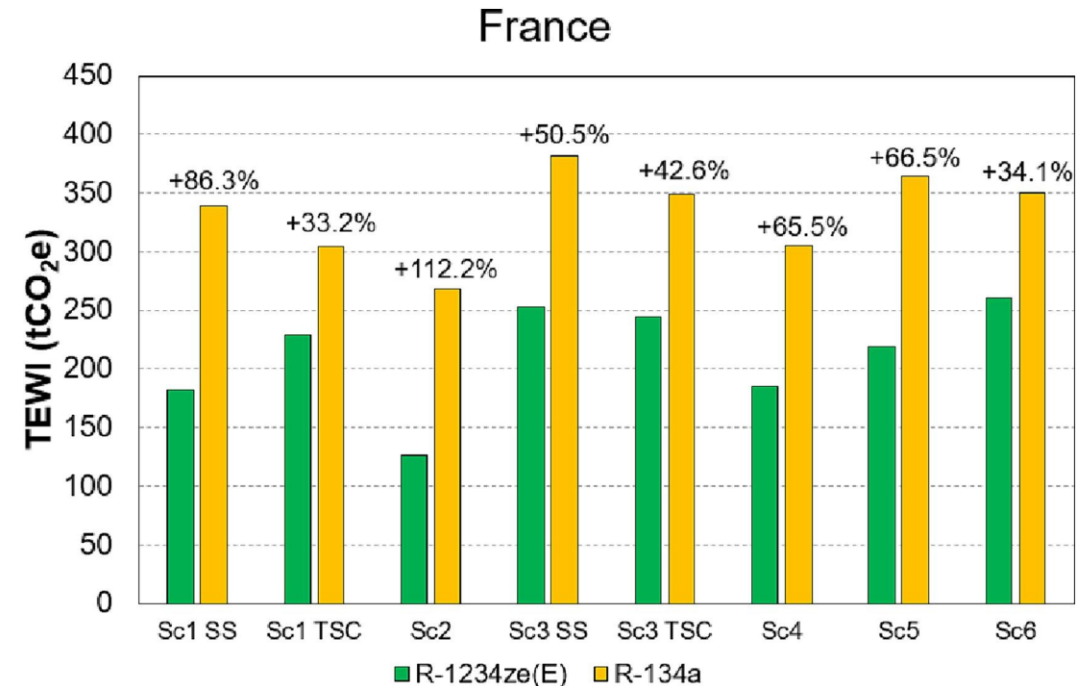
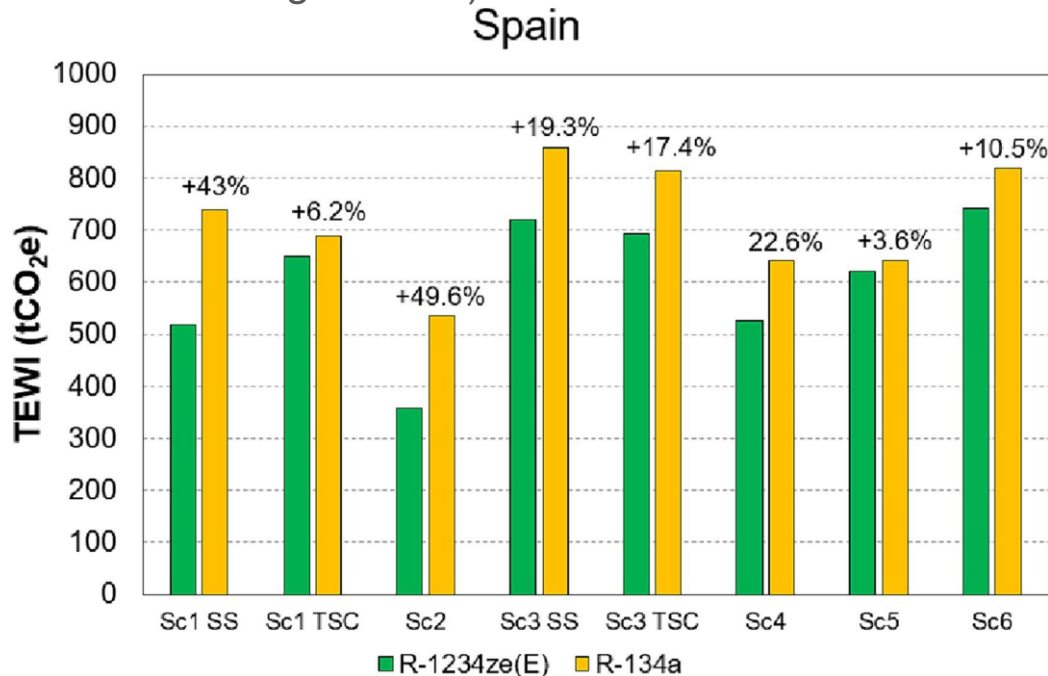
Los costes operativos y de inversión dependen en gran medida de las aplicaciones consideradas, mientras que una caldera de combustibles fósiles se ve afectada principalmente por las necesidades de calefacción. Es necesario estudiar cada situación en detalle para determinar qué combinación puede reducir los costes y hacer que la inversión resulte más atractiva.



1.5. INTEGRACIÓN

Combinación con redes de calefacción urbana (DHN), redes de refrigeración urbana (DCN) y procesos industriales: perspectiva medioambiental

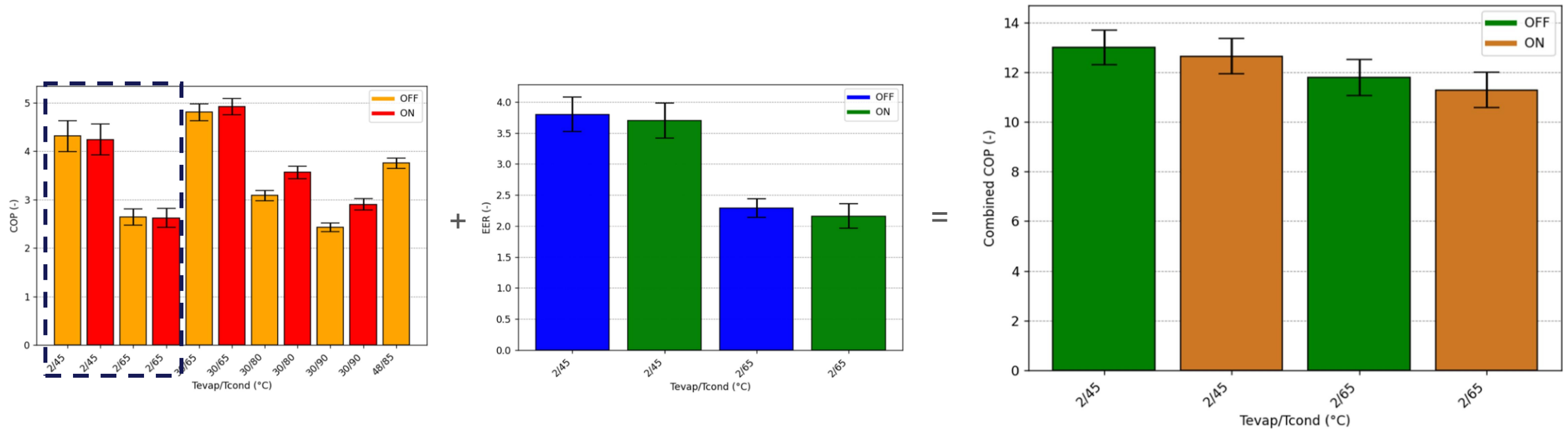
El COP obtenido influye claramente en la sostenibilidad de la solución, que será respetuosa con el medio ambiente si se eligen refrigerantes adecuados. Otro factor crítico es la red eléctrica y el factor de emisión de carbono (el origen de la electricidad generada).



1.5. INTEGRACIÓN

COP combinado

El COP combinado o agregado tiene en cuenta que la potencia de transferencia de calor de la bomba de calor corresponde tanto a la refrigeración como a la calefacción (cuantificadas por el EER y el COP, respectivamente). Al mismo tiempo, la electricidad constituye la entrada, ya que se disipa del ambiente.

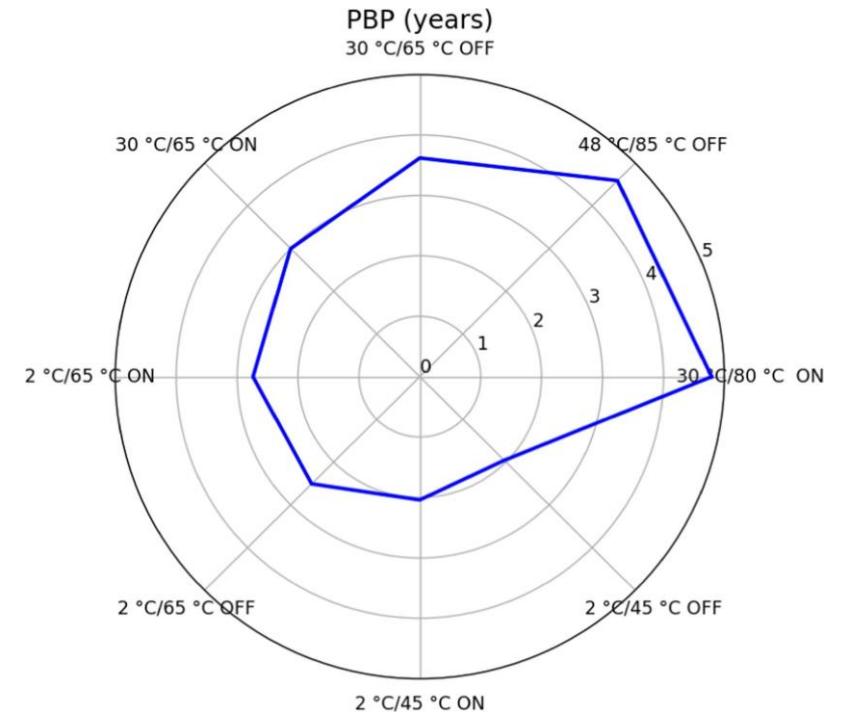
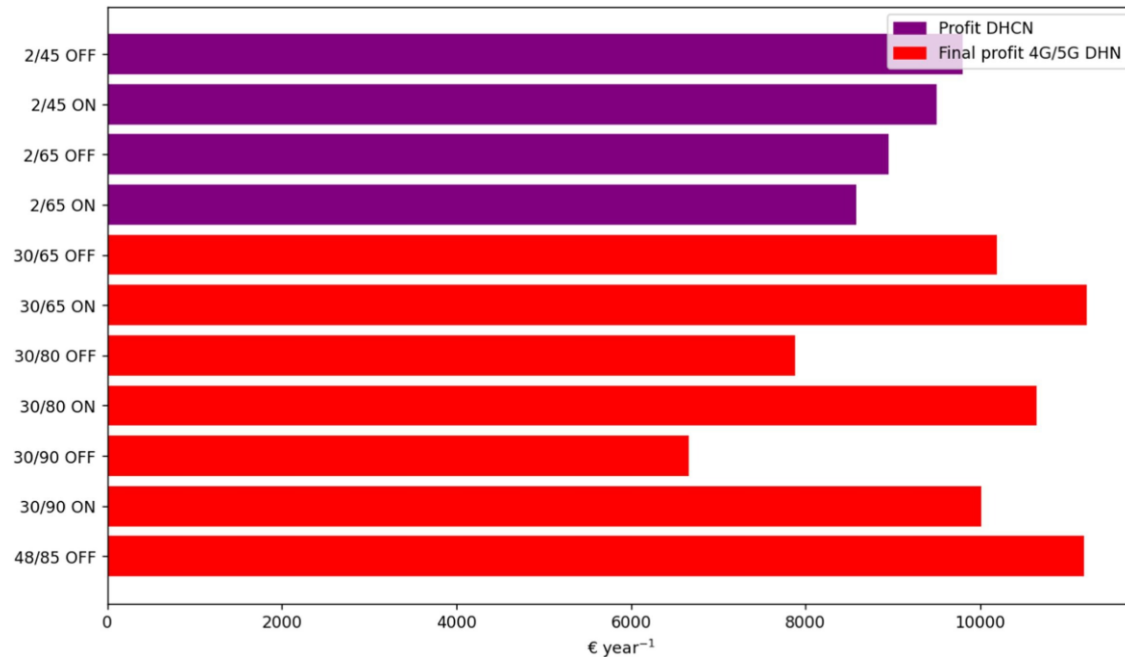


Ghad Alarnaot-Alarnaout, Joaquín Navarro-Esbrí, Ángel Barragán-Cervera, Adrián Mota-Babiloni, Evaluación energética, exérgica, económica y medioambiental (4E) de una bomba de calor experimental de temperatura moderadamente alta para redes de calefacción y refrigeración urbanas, Energy Conversion and Management, volumen 325, 2025, 119346, ISSN 0196-8904, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.119346>.

1.5. INTEGRACIÓN

Comparación con una caldera de combustibles fósiles

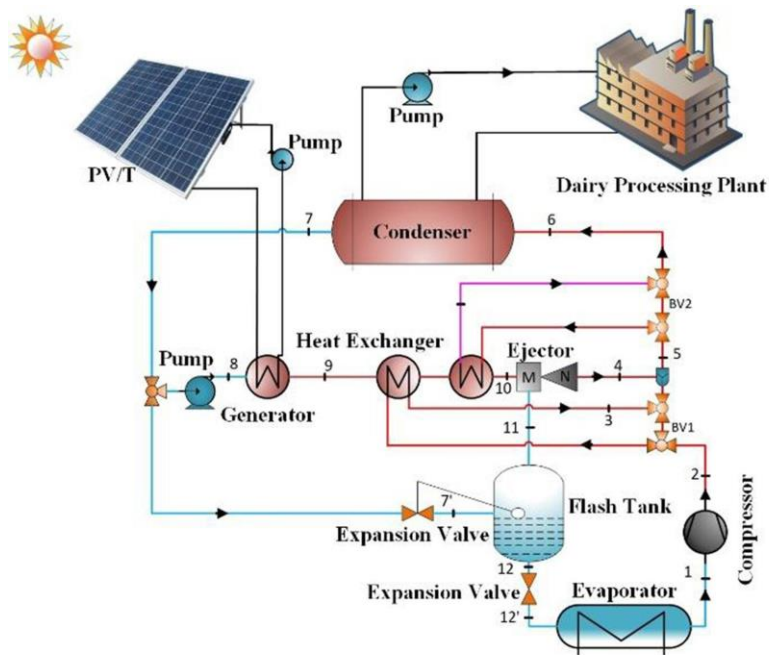
El beneficio económico en comparación con una caldera de combustibles fósiles es significativo, pero depende de las temperaturas de funcionamiento



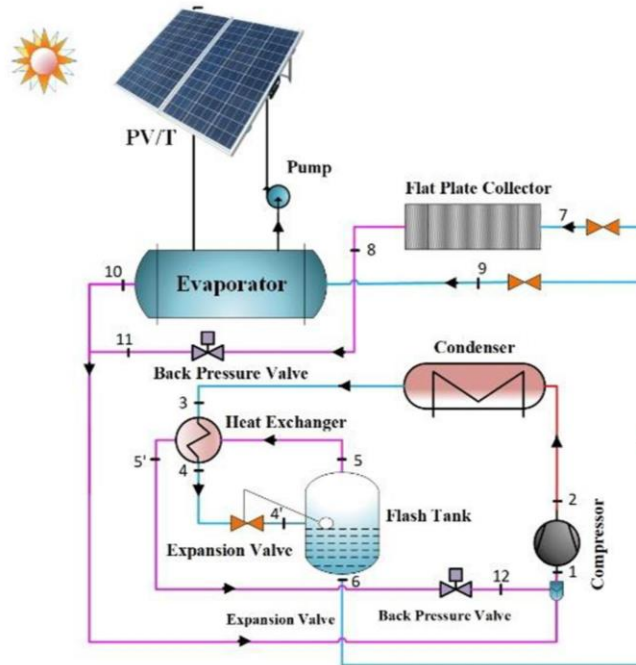
Ghad Alarnaot-Alarnaout, Joaquín Navarro-Esbri, Ángel Barragán-Cervera, Adrián Mota-Babiloni, Evaluación energética, exérgica, económica y medioambiental (4E) de una bomba de calor experimental de temperatura moderadamente alta para redes de calefacción y refrigeración urbanas, *Energy Conversion and Management*, volumen 325, 2025, 119346, ISSN 0196-8904, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.119346>.

1.6. CALOR RESIDUAL Y CALOR RENOVABLE

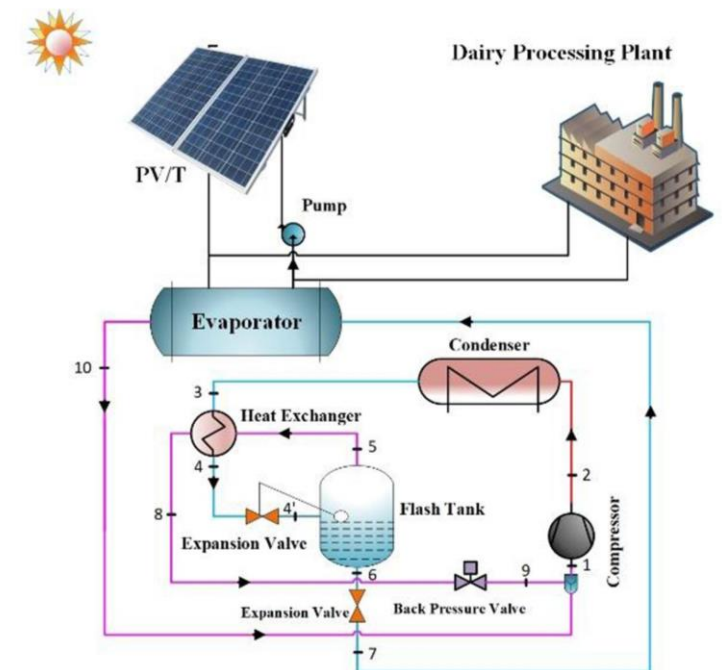
Ejemplo 1. Una novedosa bomba de calor que combina el calor residual, un eyector impulsado por energía solar y asistencia solar, destinada a la calefacción y la refrigeración simultáneas.



Modo de refrigeración
calor residual de la leche



Modo de calefacción con calor residual de PV/T

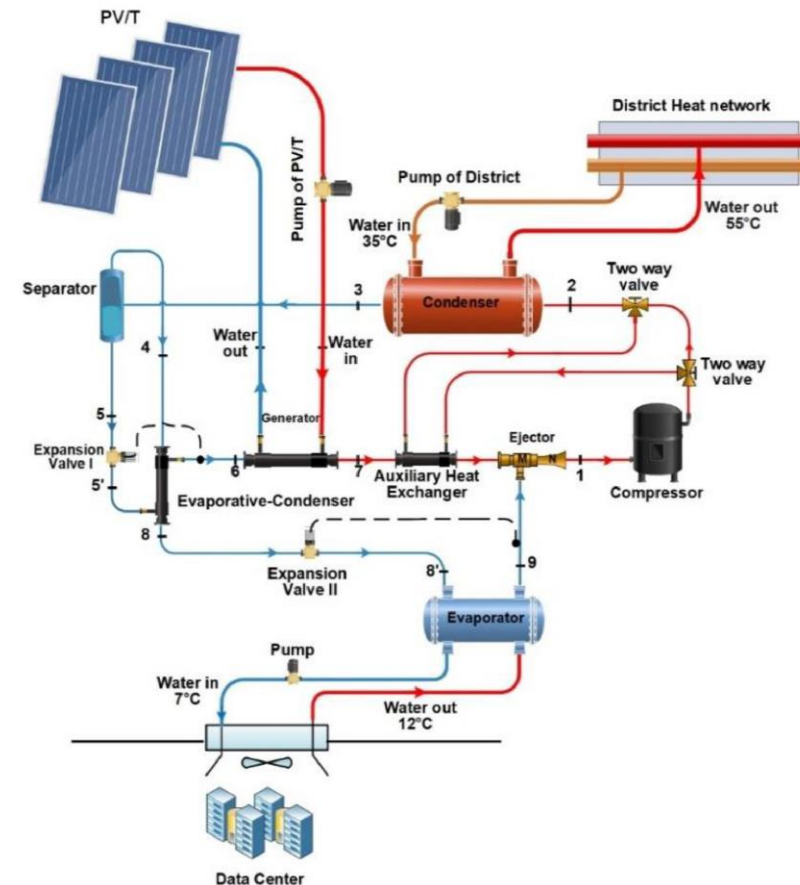


Modo de calefacción con

1.6. RESIDUOS Y CALOR RENOVABLE

Ejemplo 2

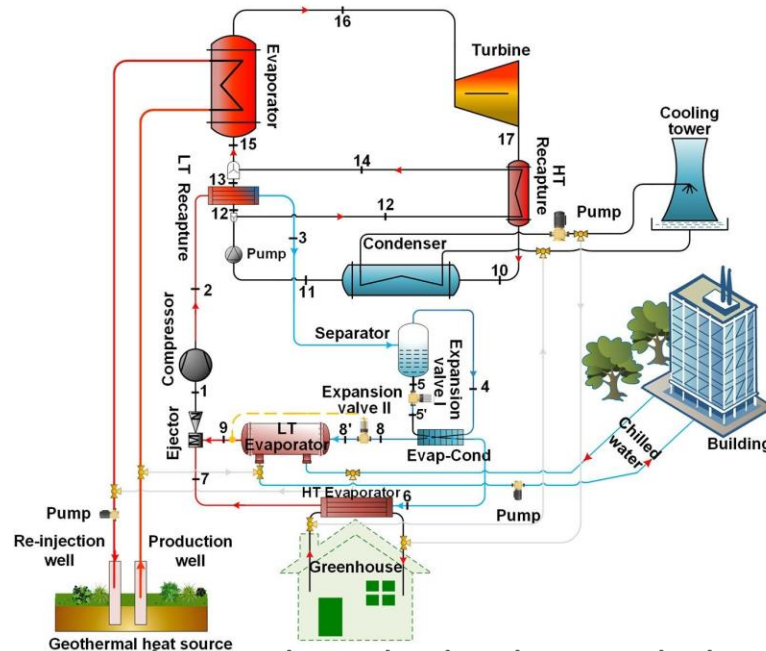
Un novedoso sistema compuesto PV/T (fotovoltaico-térmico) de bomba de calor con eyector impulsado por calor residual para la refrigeración simultánea de centros de datos y la recuperación de calor residual para redes de calefacción urbana.



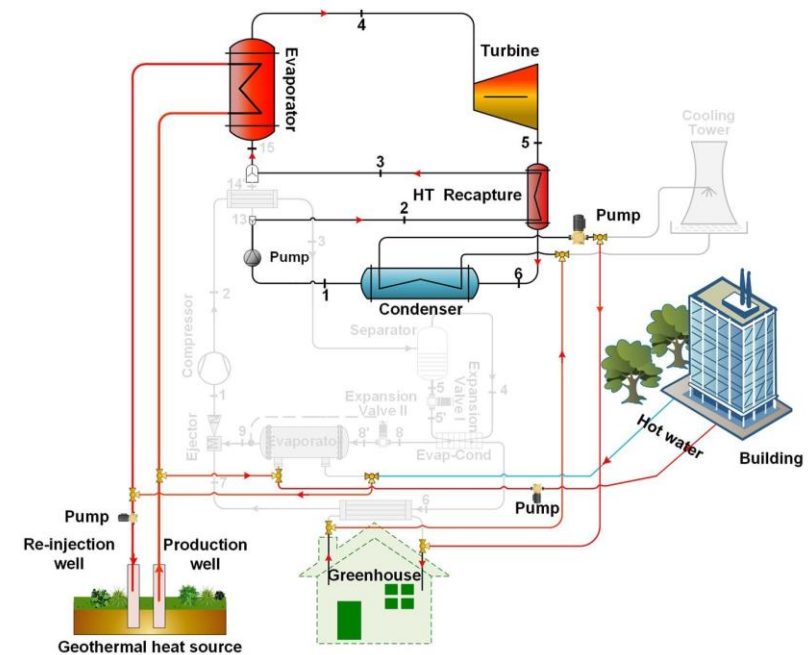
Ali Khalid Shaker Al-Sayyab, Joaquín Navarro-Esbrí, Adrián Mota-Babloni, *Análisis de energía, exergía y medio ambiente (3E) de una bomba de calor con eyector compuesto que utiliza refrigerantes de bajo potencial de calentamiento global (GWP) para la refrigeración simultánea de centros de datos y la calefacción urbana*, *International Journal of Refrigeration*, volumen 133, 2022, páginas 61-72, ISSN 0140-7007, <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2021.09.036>.

1.6. CALOR RESIDUAL Y CALOR RENOVABLE

Ejemplo 3. Sistema combinado de Rankine orgánico y compresión de vapor con eyector compuesto y evaporador múltiple para dos niveles de refrigeración y calefacción, con generación de electricidad y aprovechamiento del calor residual geotérmico y del condensador.



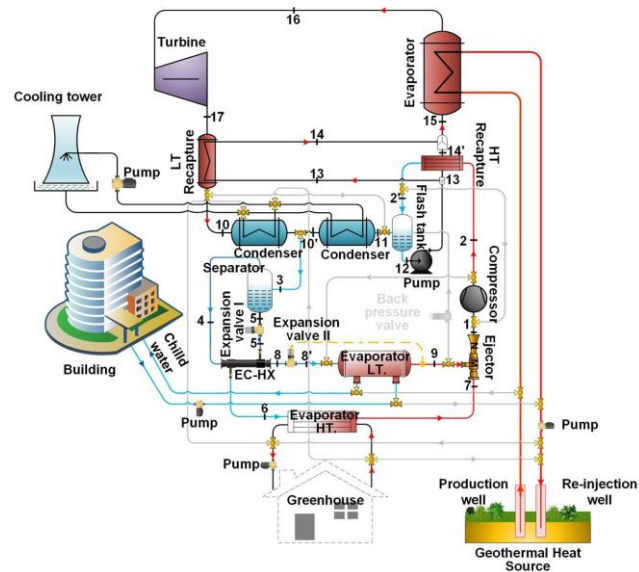
Generación combinada de electricidad y refrigeración y calefacción



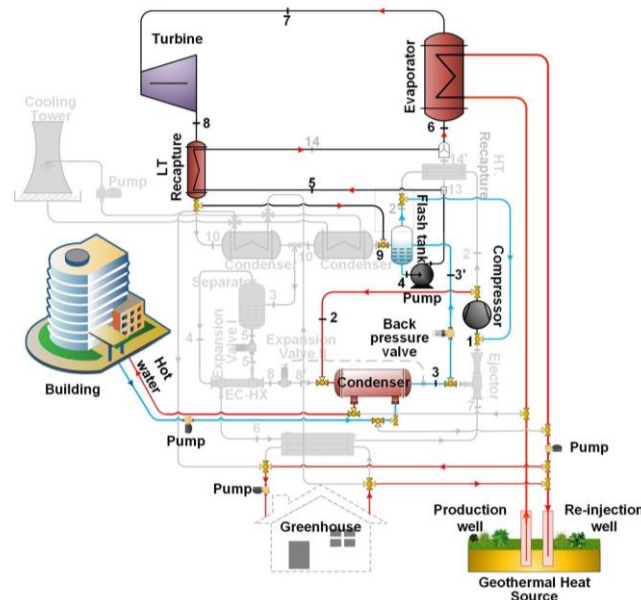
Generación combinada de electricidad y calefacción

1.6. CALOR RESIDUAL Y CALOR RENOVABLE

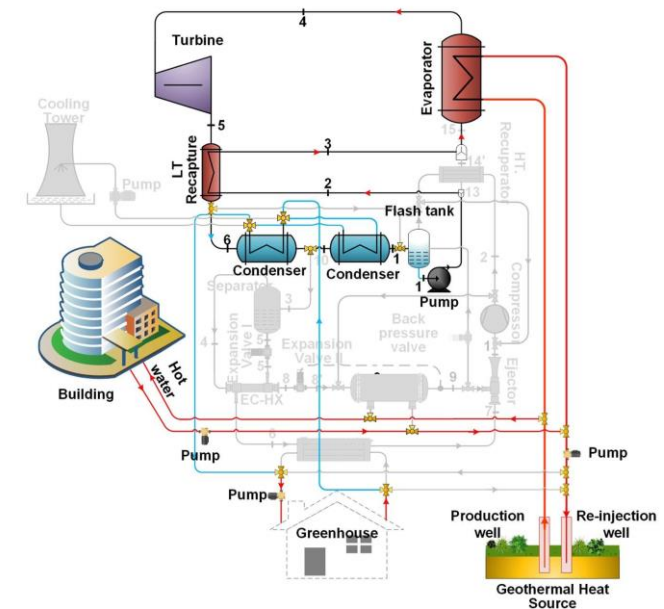
Ejemplo 4. Un ciclo ORC combinado con un sistema compuesto de eyectores y VCC impulsado por el calor residual de un invernadero para la generación de energía, refrigeración y calefacción de alta eficiencia energética.



Energía para refrigeración
calefacción geotérmica



Energía para calefacción con bomba de calor



Energía para

1.7. CONCLUSIONES

- Las bombas de calor y las enfriadoras permiten calentar y refrigerar simultáneamente
- Esto permite maximizar el rendimiento energético de la bomba de calor. De lo contrario, se desperdiciaría.
- Los sistemas DHN y DCN son ideales para maximizar los beneficios y reducir la necesidad de costosas estrategias de desplazamiento de picos o de un mayor almacenamiento de energía térmica.
- Las bombas de calor pueden utilizar diversas tecnologías de compresores, dependiendo principalmente de la capacidad térmica de la unidad y de la relación de presión establecida por la aplicación.
- La calefacción y la refrigeración simultáneas contribuyen a mejorar las condiciones de funcionamiento de la bomba de calor.
- La eficiencia energética es fundamental para que las bombas de calor sean competitivas frente a las calderas.
- Las bombas de calor son especialmente eficientes cuando sus componentes utilizan calor renovable o residual. Se puede considerar una amplia variedad de fuentes de calor.

2. TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN EN FRÍO



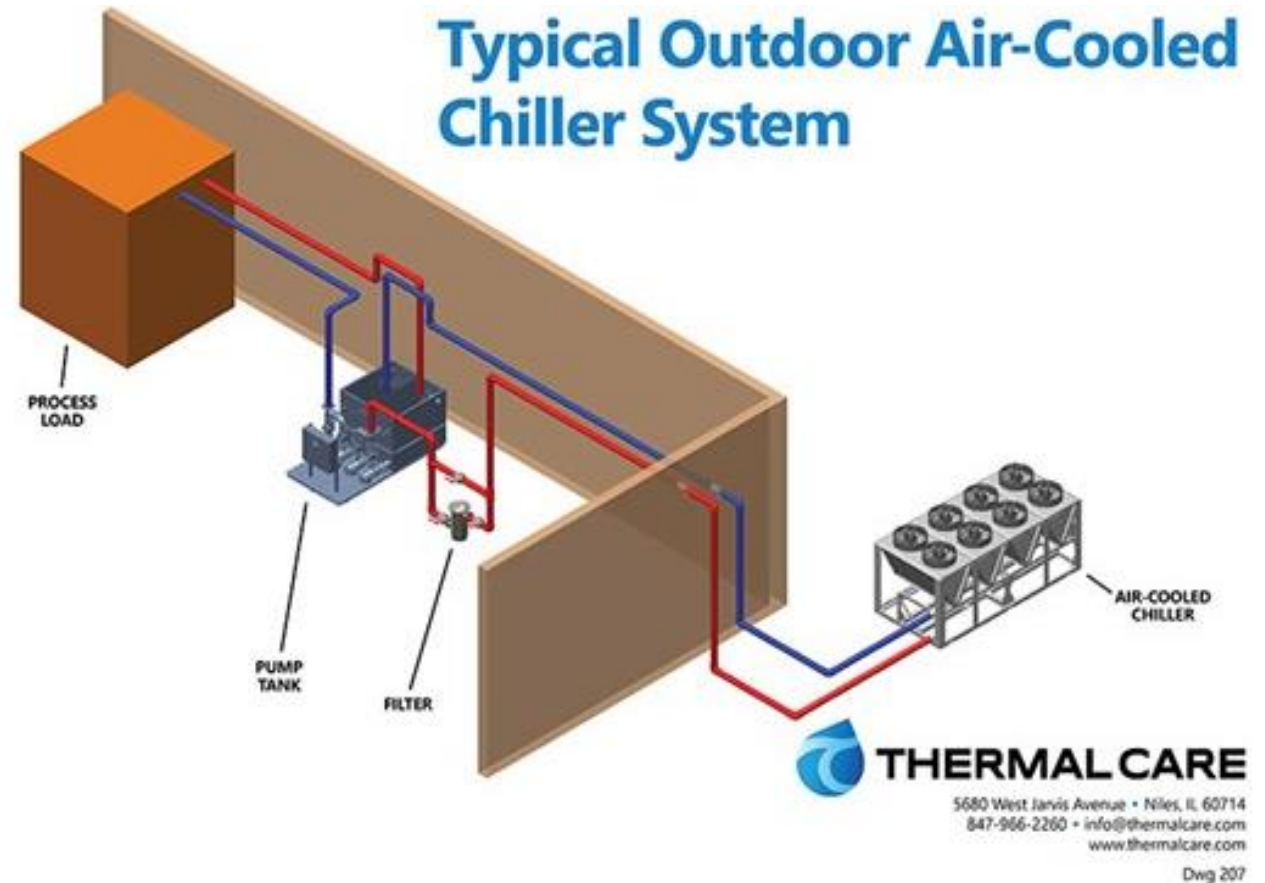
2.1. Enfriadoras

Introducción

Un enfriador **elimina el calor** de un proceso, una máquina o un edificio para mantener una temperatura controlada. Esto se consigue haciendo circular un fluido refrigerado (a menudo agua o una mezcla de agua y glicol) que absorbe el calor de la zona objetivo y lo transfiere al entorno.

Se utilizan habitualmente en sistemas **industriales, comerciales y de climatización** (calefacción, ventilación y aire acondicionado) para refrigerar equipos, procesos o edificios. Por lo tanto, su capacidad de refrigeración **oscila entre cientos y miles de kW**.

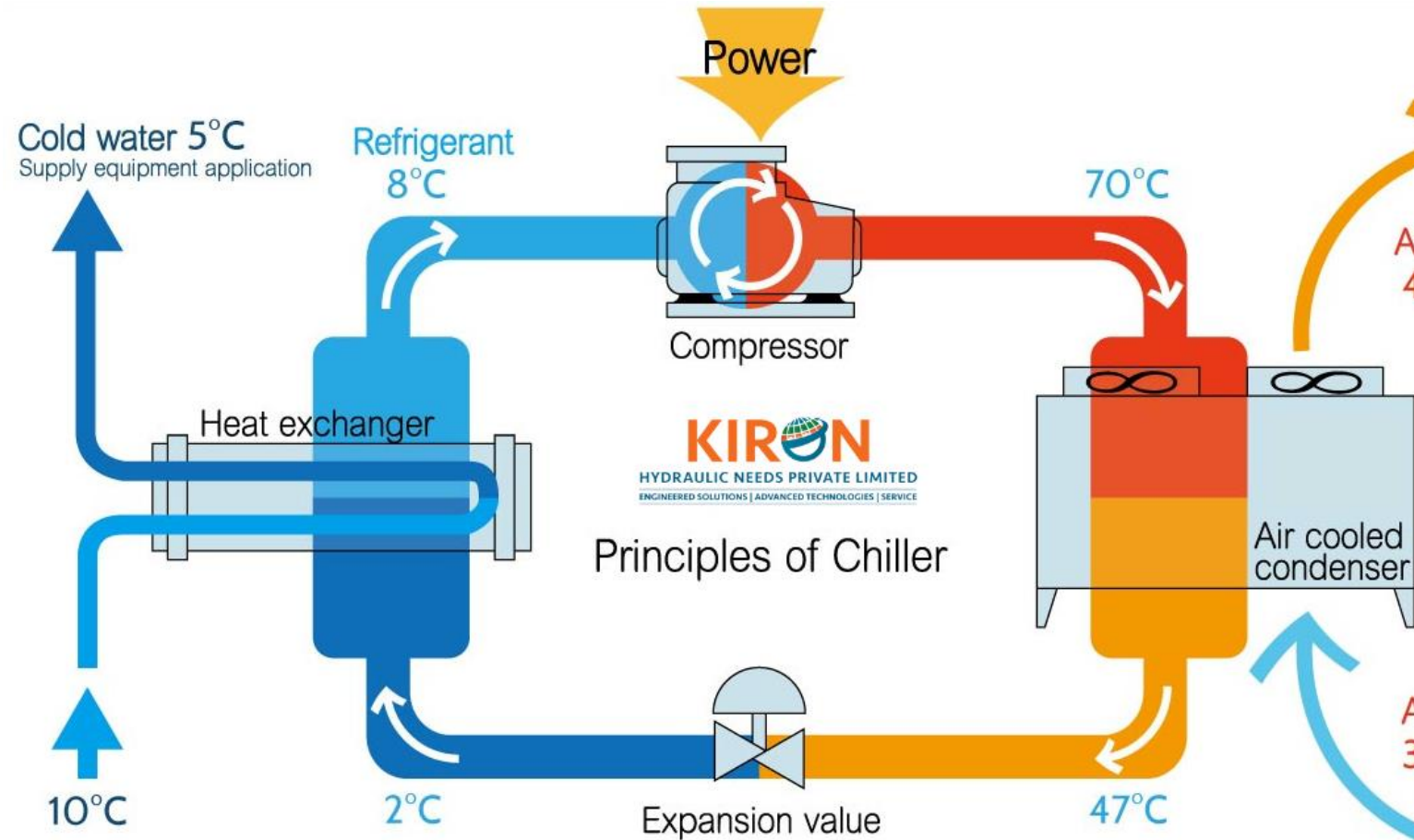
Los Enfriadoras se utilizan ampliamente en sectores como **la industria manufacturera, las instalaciones médicas, los centros de datos** y el procesamiento de alimentos para mantener temperaturas óptimas.



2.1. Enfriadoras

Funcionamiento

- El ciclo de un enfriador funciona igual que el de una bomba de calor, pero se centra únicamente en la refrigeración
- En el evaporador, se absorbe el calor mediante el intercambio térmico con el agua líquida
- El calor se expulsa mediante intercambio con el aire (normalmente en la azotea)
- Las unidades que contienen los ventiladores para expulsar el calor se denominan unidades de condensación



2.1. Enfriadoras

Tipos de Enfriadoras

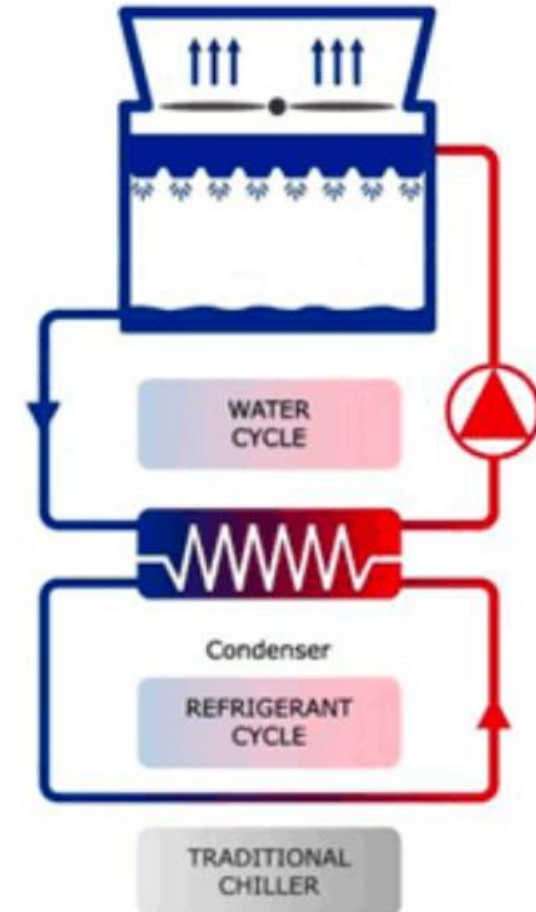
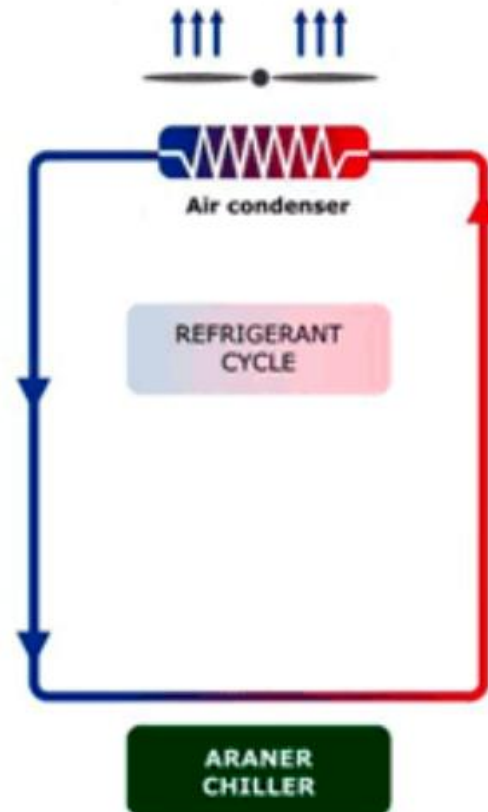
Los Enfriadoras se clasifican en función de cómo disipan el calor:

1. Enfriadoras refrigerados por aire:

1. Utilizan ventiladores para hacer circular aire sobre el serpentín del condensador y liberar calor.
2. Ideales para sistemas de tamaño pequeño a mediano o en lugares donde el acceso al agua es limitado.
3. Son habituales en los sistemas comerciales de climatización.

2. Enfriadoras refrigeradas por agua (centrífugas):

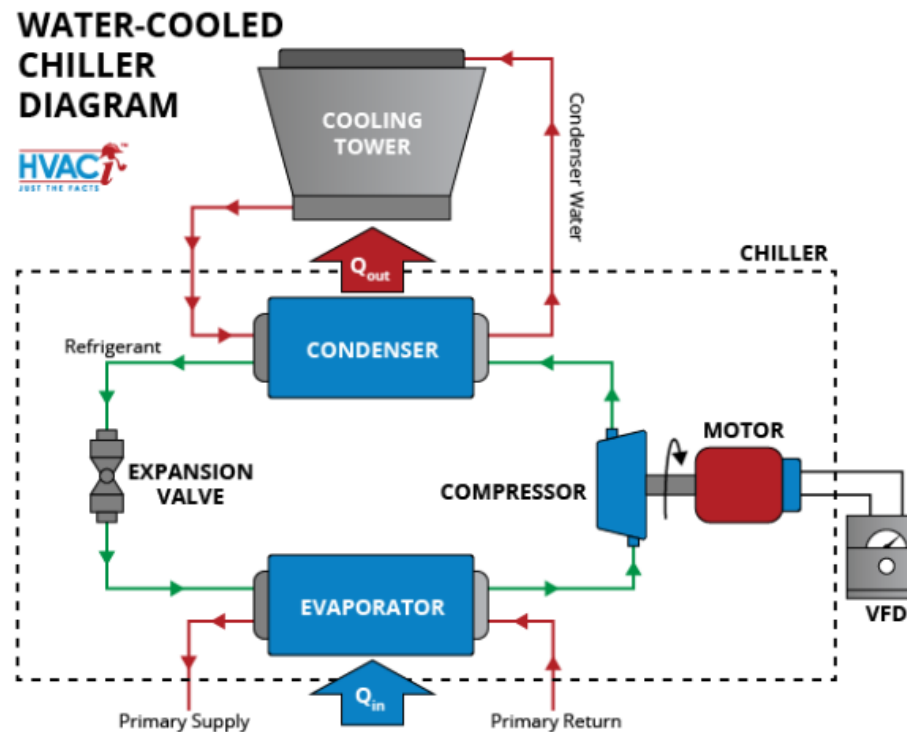
1. Utilizan agua y torres de refrigeración para disipar el calor de forma más eficiente.
2. Adecuados para aplicaciones industriales a gran escala en las que se requiere una mayor eficiencia.



2.1. Enfriadoras

Enfriadoras refrigerados por agua

El ciclo de las enfriadoras refrigeradas por agua expulsa el calor utilizando agua en lugar de aire; a continuación, el agua se enfría en la torre de refrigeración y se reintroduce en el condensador.



Gama: de 50 kW a 10 000 kW



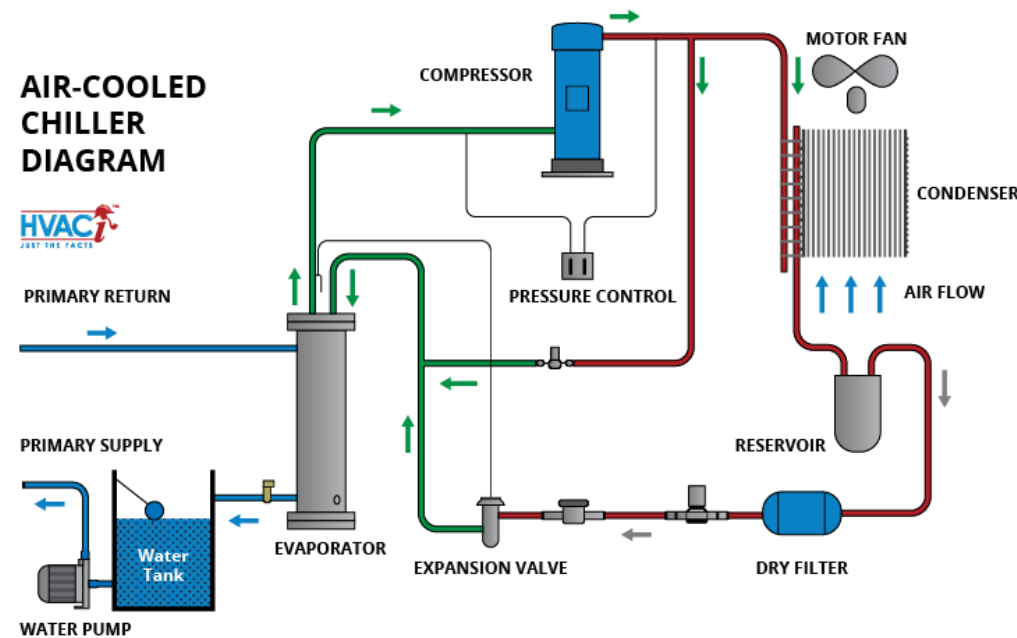
Alpine Intel. (2025). Conceptos básicos sobre Enfriadoras. <https://alpineintel.com/resource/the-basics-of-chillers/>

Carrier CCA. (s. f.). Lista de productos (ID principal: 7, ID de categoría: 48). https://www.carriercca.com/product_listing.cfm?parent_id=7&cat_id=48

2.1. Enfriadoras

Enfriadoras refrigerados por aire

El enfriador refrigerado por aire es el enfriador básico; el refrigerante se enfría directamente con aire, lo que significa que el calor se expulsa directamente al ambiente.



Gama: de 15 kW a 1500 kW



2.1. Enfriadoras

Parámetros clave y eficiencia

- **Capacidad de refrigeración ($\dot{Q}_o$):** Se mide en toneladas de refrigeración o kilovatios (kW) e indica la cantidad de calor eliminado.
- **Consumo de energía ($\dot{W}_c$):** Los compresores son los que más electricidad consumen (kW) en el sistema, por lo que su diseño es fundamental para la eficiencia. Hay que tener en cuenta las bombas de agua y los ventiladores, ya que pueden representar el 10 % del consumo.
- **Índice de eficiencia energética (EER):** Una medida de eficiencia calculada como la relación entre la potencia de refrigeración proporcionada y la energía consumida (kW de refrigeración / kW de electricidad).

$$EER = \frac{\dot{Q}_o}{\dot{W}_c}$$

- **Índice de eficiencia energética estacional (SEER):** similar al EER, pero calculado a lo largo de toda una temporada, dividiendo la potencia de refrigeración por la energía eléctrica total consumida (kWh de refrigeración / kWh de electricidad).

2.1. Enfriadoras

Índice de eficiencia energética estacional (SEER)

- El SEER utiliza una temperatura interior fija, junto con diferentes temperaturas exteriores y capacidades de carga, para simular condiciones reales.
- La norma EN 14825 define la metodología de ensayo.

		Capacidad			
		100 %	74 %	47 %	21 %
Temperatura exterior	Fuente de aire	35 °C	30 °C	25 °C	20 °C
	Fuente de agua	30 °C	26 °C	22 °C	18 °C

- La clase de eficiencia energética depende del SEER y del tipo de equipo. Va de la A+++ a la G, siendo la primera la clasificación más eficiente.

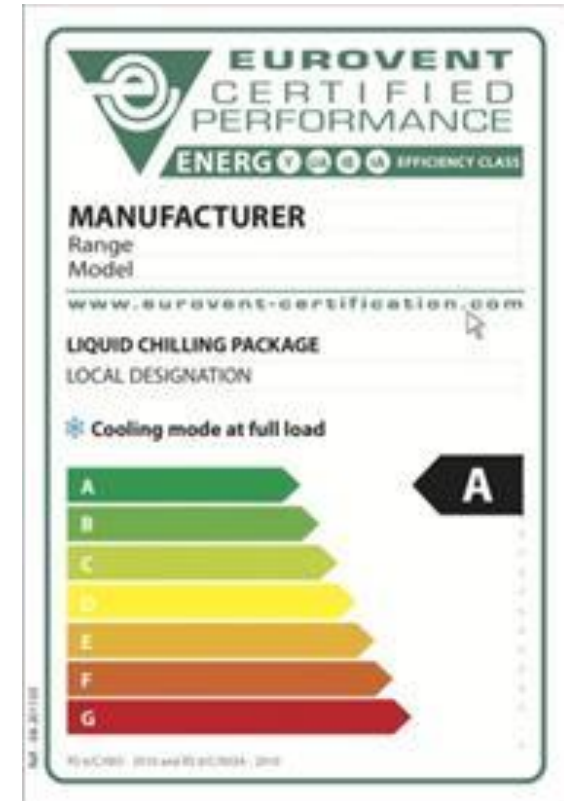
2.1. Enfriadoras

Rendimiento del sistema

Depende de:

- Un buen diseño y una instalación profesional de todo el sistema.
- Un mantenimiento periódico.
- El tamaño del edificio que se va a climatizar y su eficiencia energética.
- El tamaño del sistema y su capacidad de tratamiento de aire.
- El tiempo de uso diario del sistema.
- La temperatura interior.
- La temperatura del aire exterior.

AC	CHF	
≥ 5.05	≥ 5.1	A
$4.65 \leq \text{EER} < 5.05$	$4.9 \leq \text{EER} < 5.1$	B
$4.25 \leq \text{EER} < 4.65$	$4.7 \leq \text{EER} < 4.9$	C
$3.85 \leq \text{EER} < 4.25$	$4.5 \leq \text{EER} < 4.7$	D
$3.45 \leq \text{EER} < 3.85$	$4.3 \leq \text{EER} < 4.5$	E
$3.05 \leq \text{EER} < 3.45$	$4.1 \leq \text{EER} < 4.3$	F
< 3.05	< 4.1	G



2.1. Enfriadoras

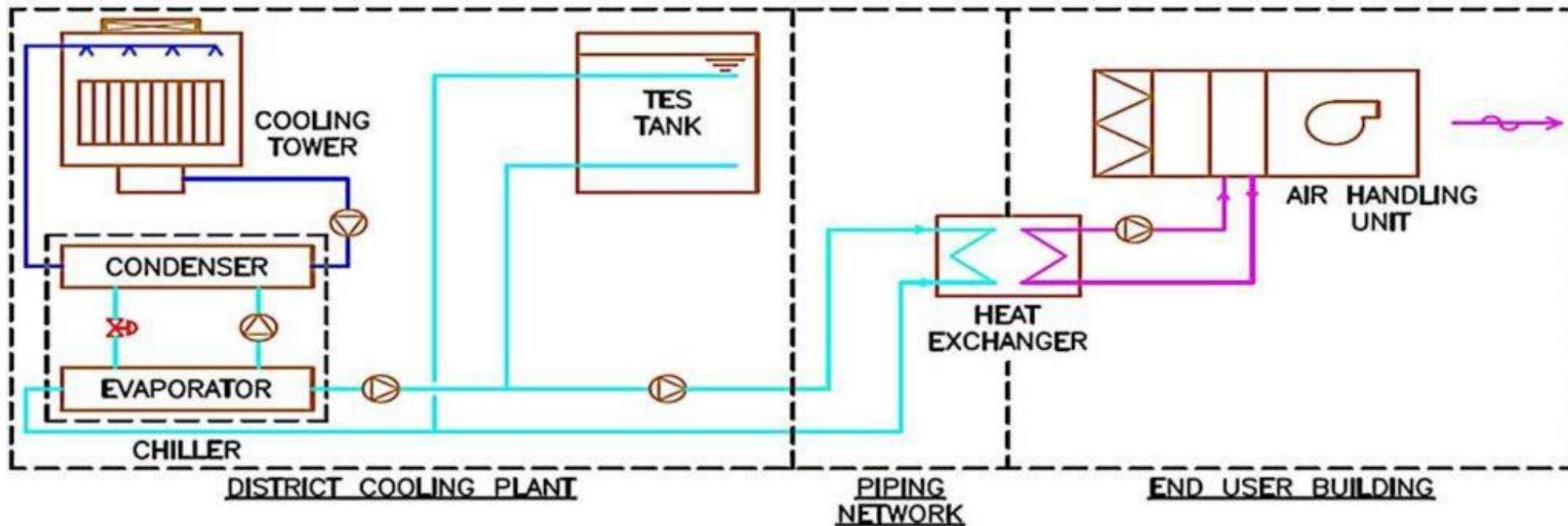
Aplicaciones de los Enfriadoras

- Sistemas de climatización
- Procesos industriales (procesamiento de alimentos, procesamiento de plásticos, acabado de metales...)
- Centros de datos
- Refrigeración
- Sanidad
- Centrales eléctricas
- Pistas de hielo
- **Refrigeración urbana**



2.1. Enfriadoras

Integración de Enfriadoras en la red de refrigeración urbana



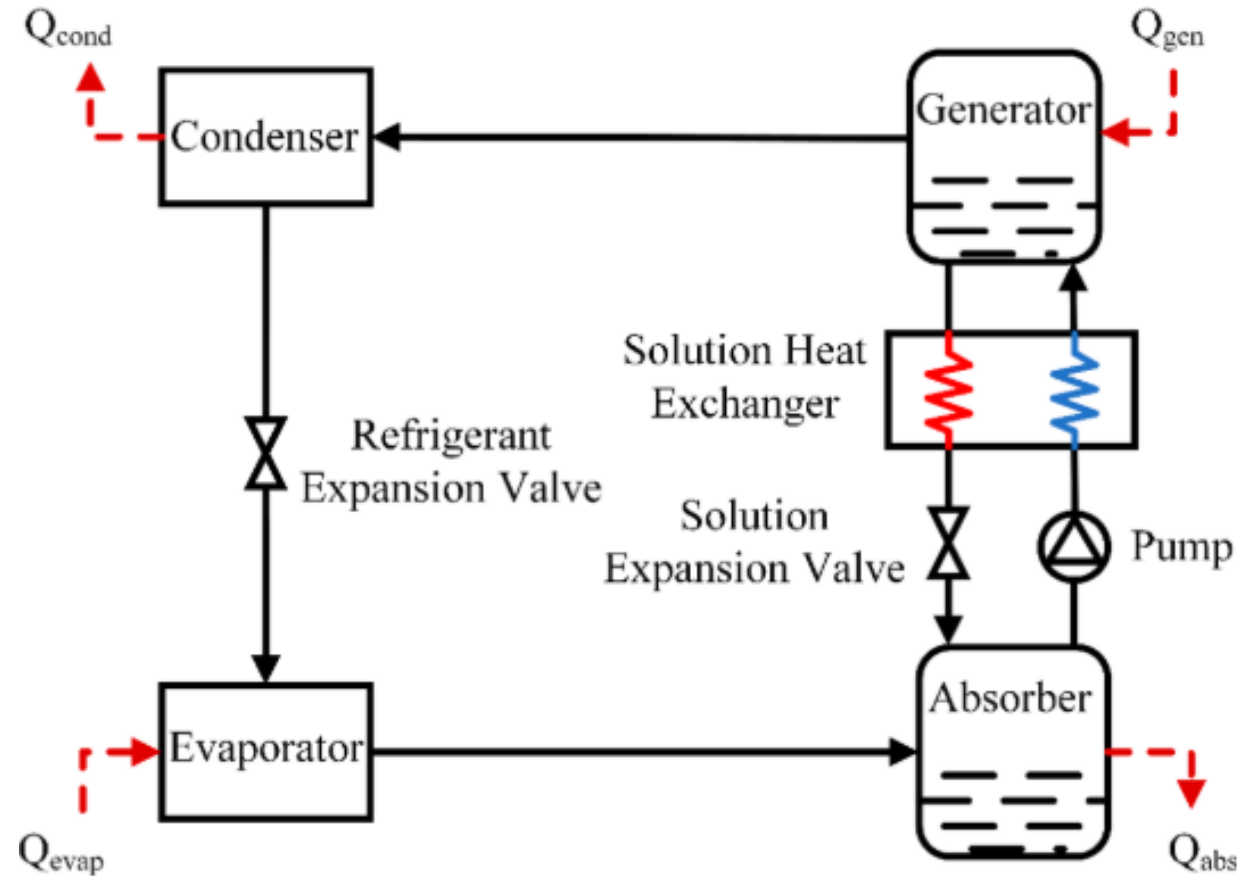
Hay dos aspectos principales que hay que tener en cuenta a la hora de incorporar un enfriador a una red de refrigeración urbana: en primer lugar, el tipo de enfriador utilizado suele ser el refrigerado por agua, ya que estas redes requieren Enfriadoras de gran capacidad y, para gestionar caudales elevados, es necesario el refrigerado por agua. Además, siempre se requiere almacenamiento de energía térmica para satisfacer la demanda del distrito en distintos momentos.

2.2. MÁQUINAS DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN

Refrigeración por absorción

Componentes principales:

1. **Evaporador:** donde el refrigerante absorbe calor y se evapora.
2. **Absorbente:** donde el vapor del refrigerante es absorbido por el fluido absorbente.
3. **Generador:** donde el refrigerante se separa del absorbente mediante calor, regenerándose así el refrigerante.
4. **Condensador:** donde el refrigerante libera calor y se condensa de nuevo en estado líquido.



2.2. MÁQUINAS DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN

Tipos de sistemas de refrigeración por absorción

Se utilizan dos pares principales de refrigerante/absorbente en función del rango de temperatura:

1. Amoníaco-agua ($\text{NH}_3\text{--H}_2\text{O}$): para aplicaciones por debajo de 50 °C

El amoníaco actúa como refrigerante y el agua como absorbente. Es habitual en la refrigeración industrial.

Ventajas: alto rendimiento en aplicaciones a baja temperatura

Inconvenientes: el agua es volátil, por lo que requiere un rectificador; el sistema es complejo. El amoníaco es inflamable, tóxico e incompatible con el cobre y el latón, por lo que los sistemas se fabrican en acero.

2. Agua–bromuro de litio ($\text{H}_2\text{O--LiBr}$): para aplicaciones por encima de los 50 °C

El agua es el refrigerante y el LiBr, el absorbente. Se utiliza ampliamente en sistemas de aire acondicionado y agua caliente para grandes edificios.

Ventajas: Alta seguridad, estabilidad, gran afinidad y calor latente; carga ajustable mediante la reconcentración del absorbente

Inconvenientes: riesgo de cristalización cerca de los 0 °C; funciona al vacío; alta viscosidad; riesgo de fugas de aire.

2.2. MÁQUINAS DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN

Parámetros relevantes

Capacidad de refrigeración (): Cantidad de calor extraída por el evaporador del espacio o proceso que se está refrigerando, medida normalmente en kW.

Aporte de calor (): El calor necesario para impulsar el ciclo de absorción, que suele proceder de una fuente de calor como el gas natural, el calor residual o la energía solar. Se mide a menudo en kW.

Coeficiente de rendimiento (COP): La relación entre la capacidad de refrigeración (Q_o) y la entrada de calor (Q_g).

El COP es un indicador clave del rendimiento en materia de eficiencia energética. Un COP más alto indica un sistema más eficiente. En la refrigeración por absorción, los valores típicos del COP oscilan entre 0,5 y 1,5, lo que supone un valor significativamente inferior en comparación con los sistemas de compresión de vapor.

2.2. MÁQUINAS DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN

En comparación con los sistemas de compresión de vapor:

Compression systems	Absorption systems
Work operated	Heat operated
High COP	Low COP (currently maximum ≈ 1.4)
Performance (COP and capacity) very sensitive to evaporator temperatures	Performance not very sensitive to evaporator temperatures
System COP reduces considerably at part loads	COP does not reduce significantly with load
Liquid at the exit of evaporator may damage compressor	Presence of liquid at evaporator exit is not a serious problem
Performance is sensitive to evaporator superheat	Evaporator superheat is not very important
Many moving parts	Very few moving parts
Regular maintenance required	Very low maintenance required
Higher noise and vibration	Less noise and vibration
Small systems are compact and large systems are bulky	Small systems are bulky and large systems are compact
Economical when electricity is available	Economical where low-cost fuels or waste heat is available

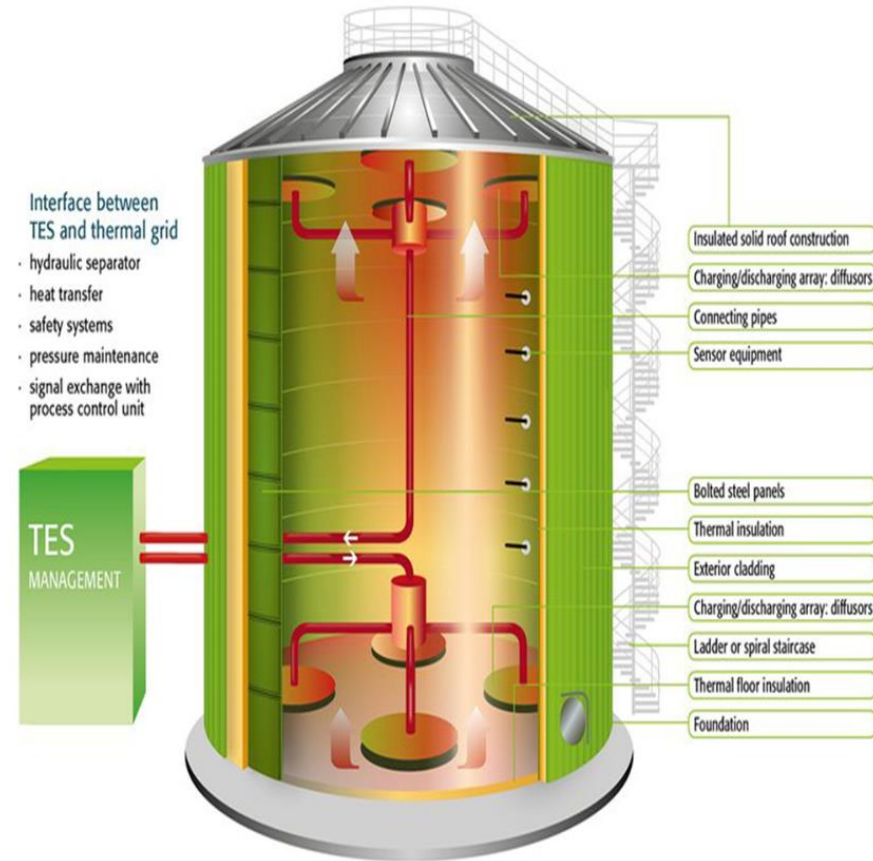
2.3. ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA (TES)

Introducción al TES

El almacenamiento de energía térmica (TES) almacena calor o frío para su uso posterior, separando la generación del consumo.

El concepto es similar al de las baterías eléctricas, pero en lugar de almacenar electricidad, se almacena calor o «frío», aumentando la temperatura de un fluido o mediante un cambio de fase (generalmente de sólido a líquido y viceversa).

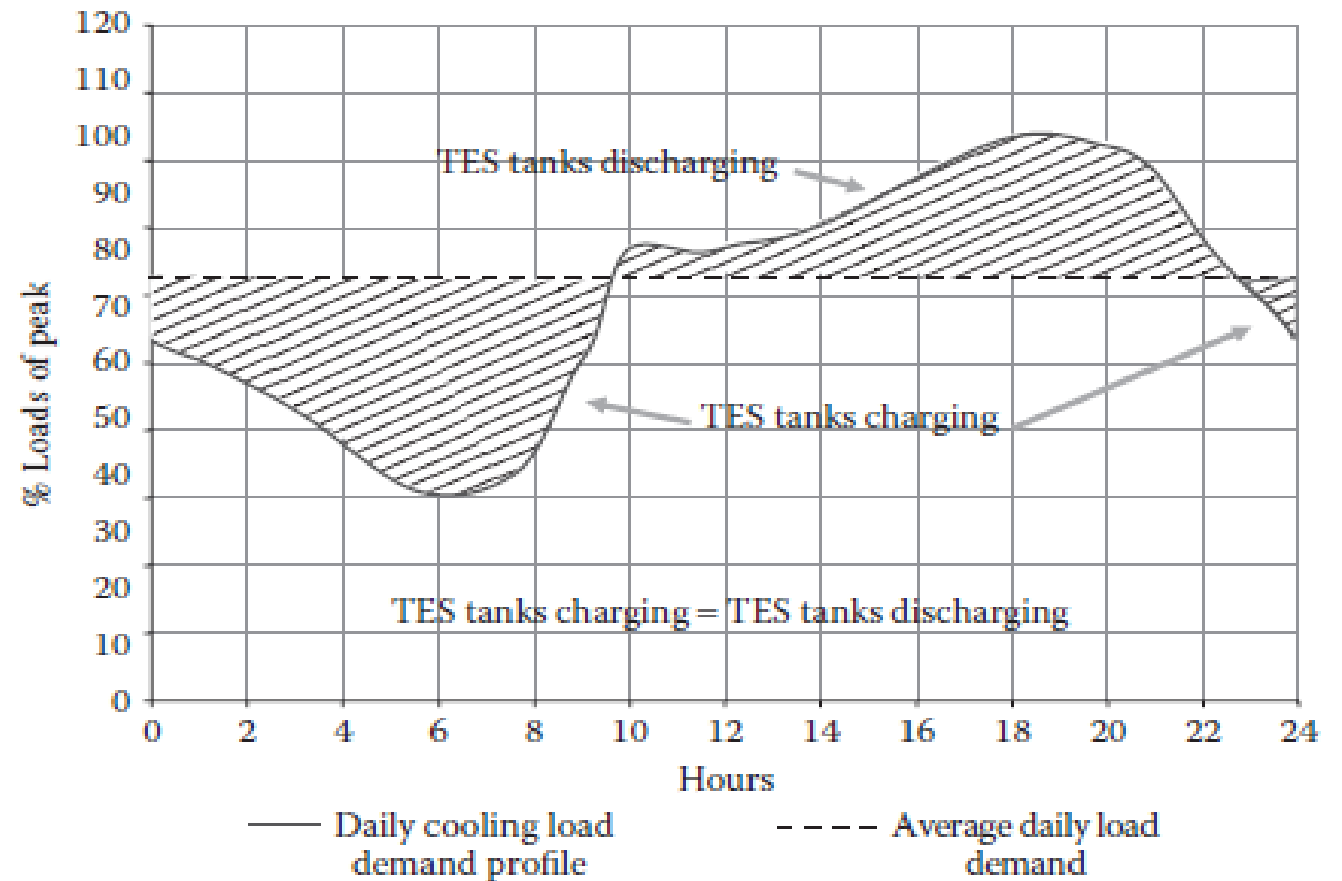
Esto significa que se puede generar calor o frío cuando se dispone de un excedente de electricidad, de energía renovable o de calor residual, para consumirlo posteriormente cuando sea necesario. Esto resulta especialmente interesante en las redes de refrigeración centralizadas (DCN), donde la refrigeración centralizada o a partir de residuos es independiente de los consumidores domésticos o industriales.



2.3. ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA (TES)

Principal ventaja del TES

- En las redes de refrigeración centralizadas (DCN), el TES suele consistir en almacenar energía de refrigeración en un depósito de agua aislado. El depósito se **enfía o se congela durante los periodos de menor demanda** (por la noche o los fines de semana) y **se descongela o se calienta durante los periodos de mayor demanda** (entre semana).
- Esto reduce la necesidad de utilizar grandes enfriadoras durante los picos de demanda, ya que se descarga el TES para cubrir parte o la totalidad de la carga. La capacidad adicional de las enfriadoras recarga el TES durante las horas de menor consumo, al tiempo que cubre las cargas de refrigeración fuera de las horas punta.
- Los Enfriadoras de menor capacidad reducen los costes de inversión y de explotación, así como la sobrecarga eléctrica de la red.



2.3. ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA (TES)

Tipos de TES

	Depósito de almacenamiento de hielo	Depósito de almacenamiento de agua refrigerada	Depósito de almacenamiento de líquido a baja temperatura
Tipo de almacenamiento	Calor latente	Calor sensible	Calor latente
Temperatura de salida	De 1 °C a 7 °C	De 4 °C a 6 °C	De -1 °C a 2 °C
Temperatura de recarga	De -8 °C a -2 °C	De 4 °C a 6 °C	De -1 °C a 2 °C
Planta de refrigeración de recarga y potencia (kW de electricidad de entrada/kW de potencia térmica de salida)	De 0,8 a 1,1 kW/tonelada (0,23 a 0,31)	de 0,6 a 0,7 kW/tonelada (0,23 a 0,31)	0,7 a 0,8 kW/tonelada (0,23 a 0,31)

2.3. ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA (TES)

Aplicaciones

- **Centros educativos:** colegios, institutos y universidades
- **Centros sanitarios:** hospitales, clínicas, laboratorios e investigación médica
- **Aeropuertos, museos** y complejos deportivos y de ocio
- **Instalaciones gubernamentales:** institucionales, militares, de investigación, administrativas y penitenciarias, a nivel federal, estatal y local
- **Sector privado:** instalaciones comerciales e industriales (incluidos los sectores aeronáutico y aeroespacial, automovilístico, informático, de procesamiento de datos, electrónico, farmacéutico y de telecomunicaciones)
- **Servicios de refrigeración urbana:** sistemas de refrigeración de agua caliente (CHW) que suministran refrigeración a múltiples clientes
- **Servicios energéticos/contratos de rendimiento:** proyectos financiados por terceros, con fondos procedentes del ahorro de costes derivado de la eficiencia energética
- **Refrigeración de la entrada de la turbina:** aumento de la potencia y la eficiencia de las centrales eléctricas de turbinas de combustión en climas cálidos

2.3. ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA (TES)

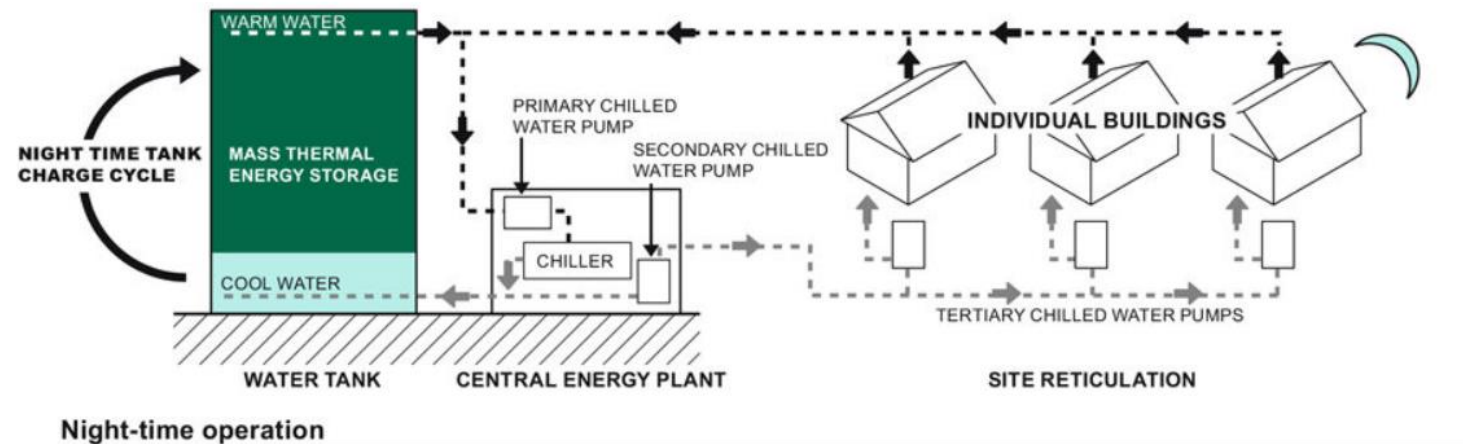
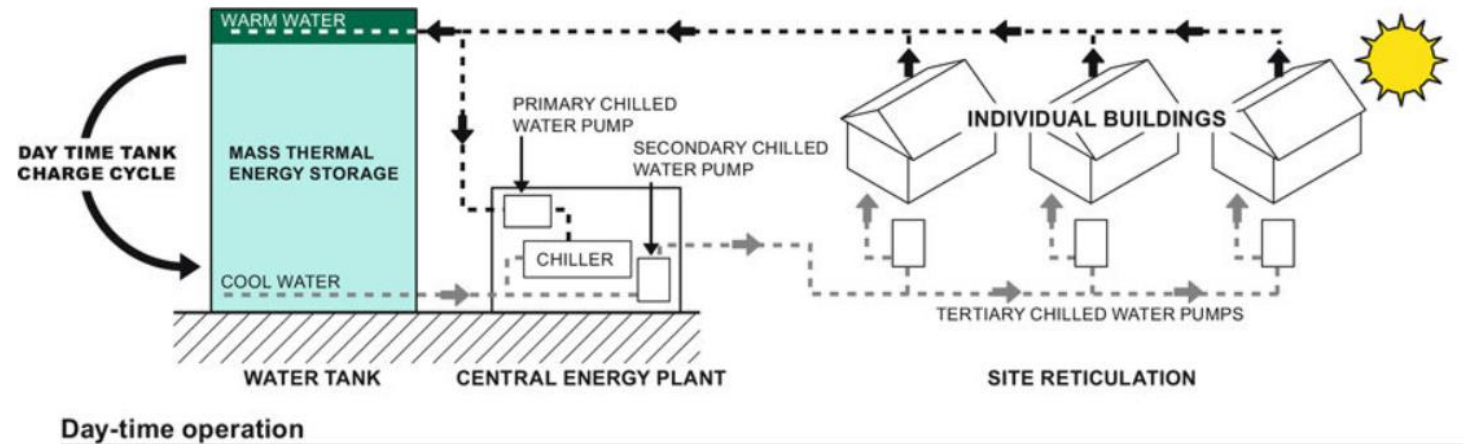
Integración del TES en la DCN

TES: almacena frío para su uso posterior

DCN: equilibra la oferta y la demanda

Ventajas: reduce la carga máxima y mejora la flexibilidad del sistema

Repercusión: aumenta la eficiencia general y permite un mejor aprovechamiento de las energías renovables y del calor residual



2.3. ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA (TES)

Ventajas generales de la integración del TES en la red de distribución de corriente continua (DCN):

- El **coste total de la instalación es menor** debido a la reducción de la potencia instalada de la planta de refrigeración. El tamaño de los equipos de refrigeración es menor, ya que están diseñados para cargas medias en lugar de picos.
- **Los costes operativos se reducen** en comparación con un sistema de refrigeración en línea, ya que se puede evitar el consumo en horas punta durante los periodos de tarifas eléctricas más elevadas.
- El impacto medioambiental se reduce gracias a la disminución de las emisiones de CO₂. El almacenamiento de energía y la mejora de la eficiencia operativa mediante el depósito de almacenamiento de energía térmica contribuyen a **reducir** aún más **las emisiones de CO₂** de un sistema de refrigeración urbana.
- **Se podría reducir el tamaño de la planta del sistema de refrigeración.** Esto se debe a que la capacidad de refrigeración de la energía producida por la planta será menor debido a la energía ya acumulada en el depósito. Por lo tanto, se puede utilizar un sistema de refrigeración más pequeño.

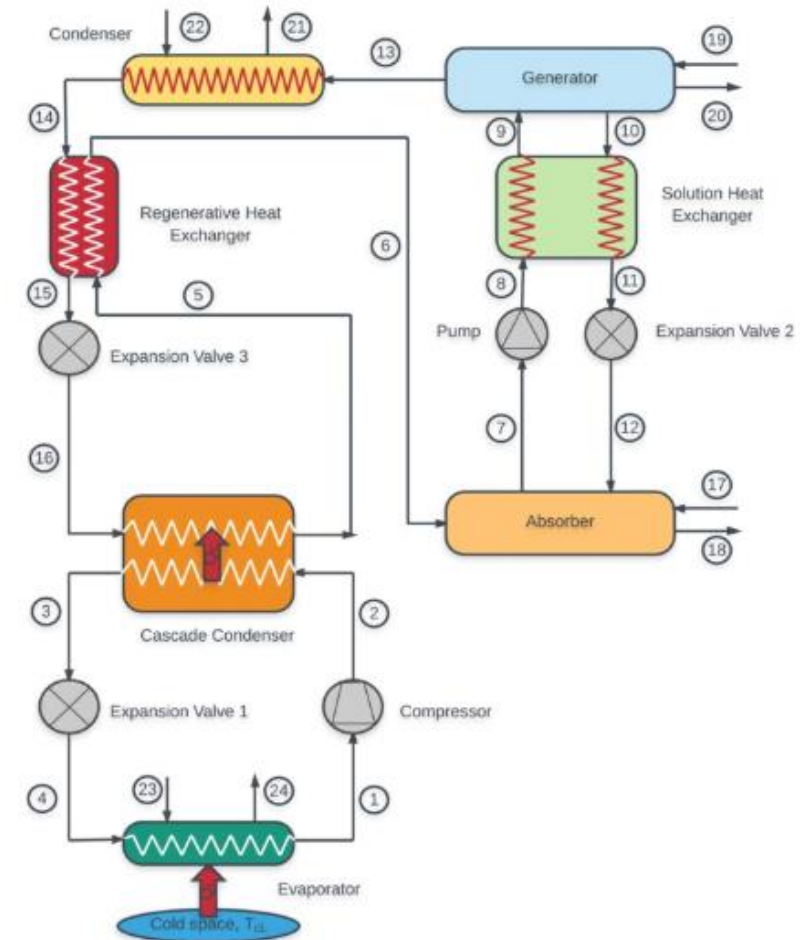
4. COMBINACIÓN DE SISTEMAS DE ACCIONAMIENTO MECÁNICO Y SISTEMAS DE ABSORCIÓN ACCIONADOS POR ENERGÍA TÉRMICA

Introducción

Una combinación de **sistemas accionados mecánicamente** (como la refrigeración por compresión de vapor) y **sistemas de absorción accionados por energía térmica**.

Integra dos tecnologías de refrigeración distintas para mejorar el rendimiento general del sistema, la eficiencia energética y la sostenibilidad.

Pueden **combinarse a través del condensador**, en el que el calor rechazado por el sistema de compresión de vapor se utiliza como calor útil en otro ciclo, como el sistema de absorción. De lo contrario, este calor se rechazaría al ambiente y se perdería. En consecuencia, se maximiza la eficiencia energética del sistema en su conjunto.



Turgut, M. y Turgut, O. (2019). Estudio comparativo y optimización del diseño multiobjetivo de un sistema de refrigeración por absorción con compresión de vapor en cascada que funciona con diferentes refrigerantes en el ciclo de compresión de vapor. *Heat and Mass Transfer*, 55. <https://doi.org/10.1007/s00231-018-2430-3>

2.4. COMBINACIÓN DE SISTEMAS DE ACCIONAMIENTO MECÁNICO Y SISTEMAS DE ABSORCIÓN ACCIONADOS POR ENERGÍA TÉRMICA

Parámetros clave

En este caso, el COP tiene en cuenta todas las entradas y salidas del sistema:

- COP_c : coeficiente de rendimiento combinado (sistema completo)
- : carga del condensador en cascada
- : entrada de carga térmica
- : consumo de potencia del compresor
- : consumo de energía de la bomba

2.4. COMBINACIÓN DE SISTEMAS DE ACCIONAMIENTO MECÁNICO Y SISTEMAS DE ABSORCIÓN ACCIONADOS POR ENERGÍA TÉRMICA

Aplicaciones de este sistema

- Refrigeración industrial
- Sistemas de refrigeración urbana
- Plantas de cogeneración (CHP)
- Calefacción y refrigeración combinadas (CHC)
- Industrias químicas y petroquímicas
- Centros de datos

Calefacción y refrigeración urbanizadas con recuperación de calor residual

- Transporte refrigerado
- Pistas de hielo y recintos deportivos
- Aplicaciones farmacéuticas y médicas
- Sistema de refrigeración solar

Sin embargo, su uso no está muy extendido debido a los costes y a su complejidad. Para que se implanten en el mercado, se necesitan avances tecnológicos o normativas que fomenten su uso.

2.5. CONCLUSIONES

- Las enfriadoras refrigeradas por aire y por agua presentan diferencias significativas en cuanto a ventajas e inconvenientes.
- Los índices COP y EER cuantifican el funcionamiento nominal de las bombas de calor y las enfriadoras.
- El COP y el EER estacionales tienen en cuenta el funcionamiento a lo largo de toda la temporada, lo que ofrece una visión más detallada del consumo real.
- Las enfriadoras de absorción funcionan utilizando calor en lugar de electricidad. Pueden funcionar con gas, pero su sostenibilidad se maximiza cuando se combinan con energías renovables, calor residual o redes de calefacción urbana.
- En las enfriadoras de absorción hay que tener en cuenta los dos fluidos para cada aplicación concreta.
- El almacenamiento de energía térmica se considera almacenamiento de calor sensible (depósito de agua caliente). Sin embargo, los materiales de cambio de fase y el almacenamiento de energía termoquímica son prometedores a medio y largo plazo.
- Una combinación de sistemas de compresión de vapor y de absorción puede maximizar la generación de frío. Esto resulta especialmente útil en aplicaciones de calefacción y refrigeración simultáneas para diversificar la producción de energía térmica y desplazar los picos de demanda.

3. REFRIGERANTES



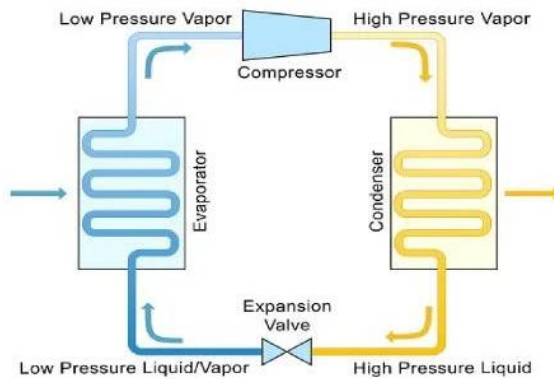
3.1. INTRODUCCIÓN A LOS REFRIGERANTES

Definición:

Según el Instituto Internacional de Refrigeración (IIR): un refrigerante es una sustancia o mezcla, normalmente fluida, que se utiliza en un ciclo de refrigeración para

- **absorber calor a baja temperatura y presión y**
- **liberarlo a una temperatura y presión más elevadas.**

Esta transferencia de calor se produce cuando el refrigerante cambia de fase, normalmente de líquido a gaseoso y viceversa, lo que permite enfriar o calentar en aplicaciones como la refrigeración, el aire acondicionado y las bombas de calor.



Super Radiator Coils. (s. f.). Intercambiadores de calor comerciales e industriales a medida. <https://www.superradiatorcoils.com/>

Sdya Chem. (s. f.). Gas isobutano R600a como refrigerante. <https://es.sdya-chem.com/refrigerant-gas/isobutane-r600a/refrigerant-r600a-isobutane-gas.html>

Advanced Commercial. (s. f.). Soluciones comerciales de climatización, refrigeración, fontanería y automatización de edificios. <https://advanced-commercial.com/>

3.1. INTRODUCCIÓN A LOS REFRIGERANTES

Refrigerante primario frente a refrigerante secundario

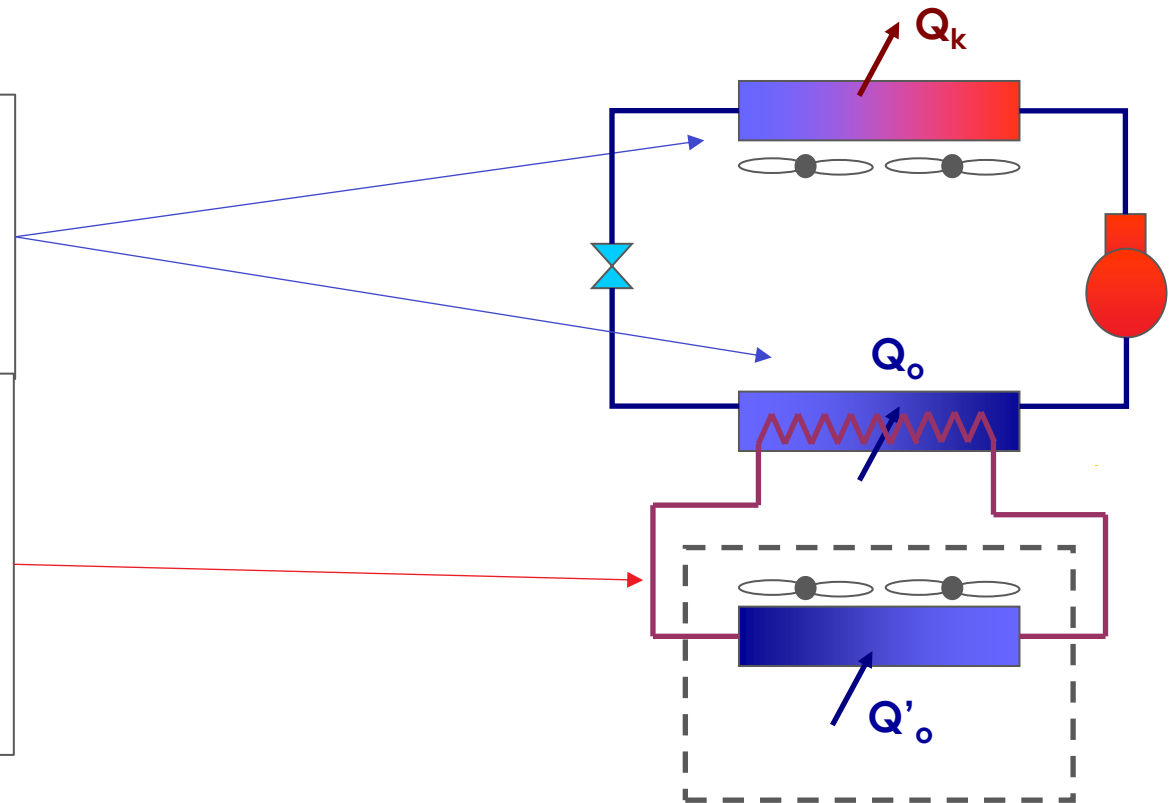
Refrigerante primario, también conocido como fluido de trabajo.

- *Rechaza el calor a una presión y temperatura **más altas***
- *Lo absorbe a una presión o temperatura **más baja***

Refrigerante secundario, también conocido como:

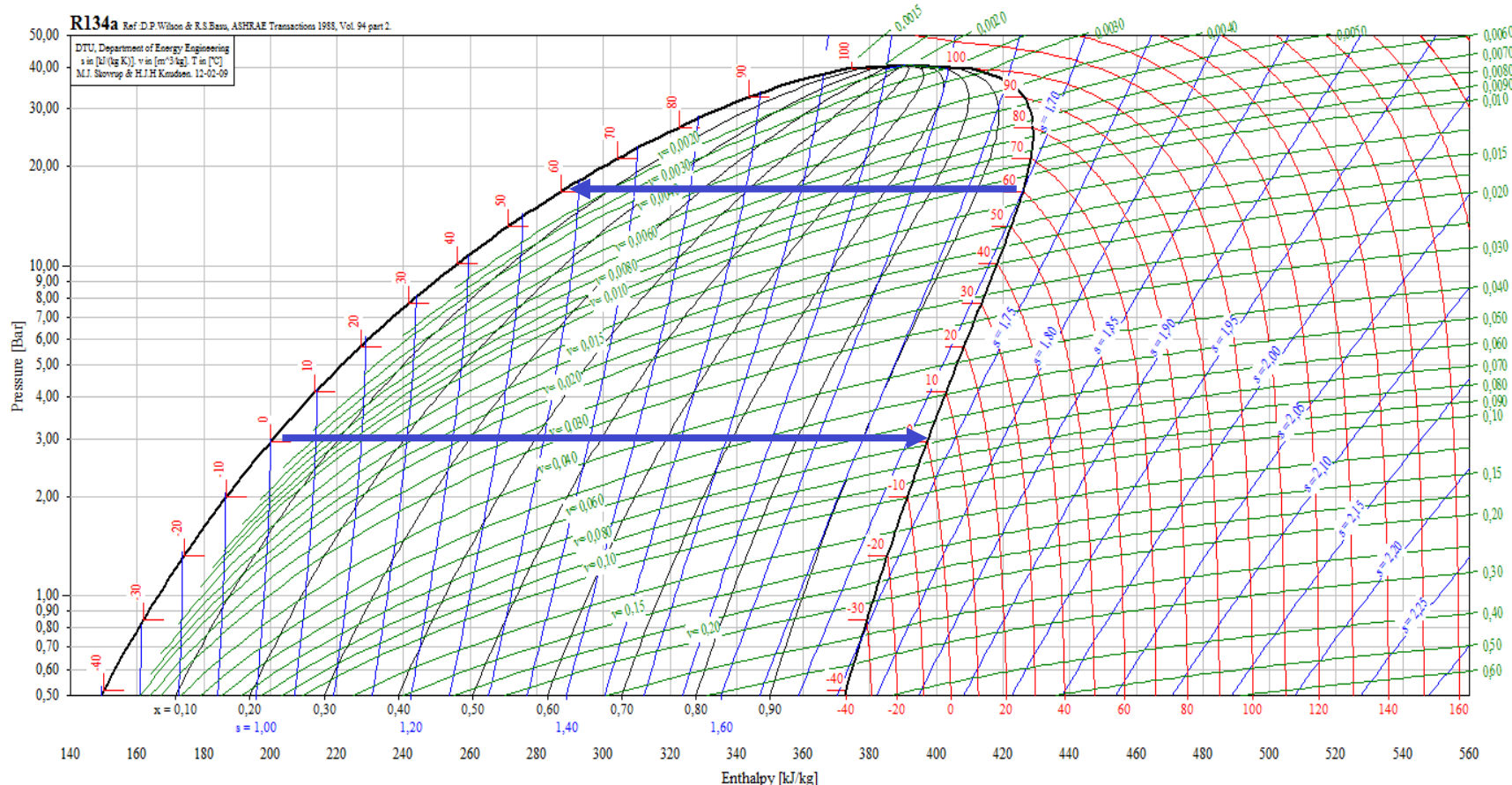
- Fluido secundario
- Refrigerante secundario
- Fluido de transferencia de calor

Cualquier fluido utilizado para transferir el calor de los productos que se desean enfriar al refrigerante primario



3.1. INTRODUCCIÓN A LOS REFRIGERANTES

Clasificación básica



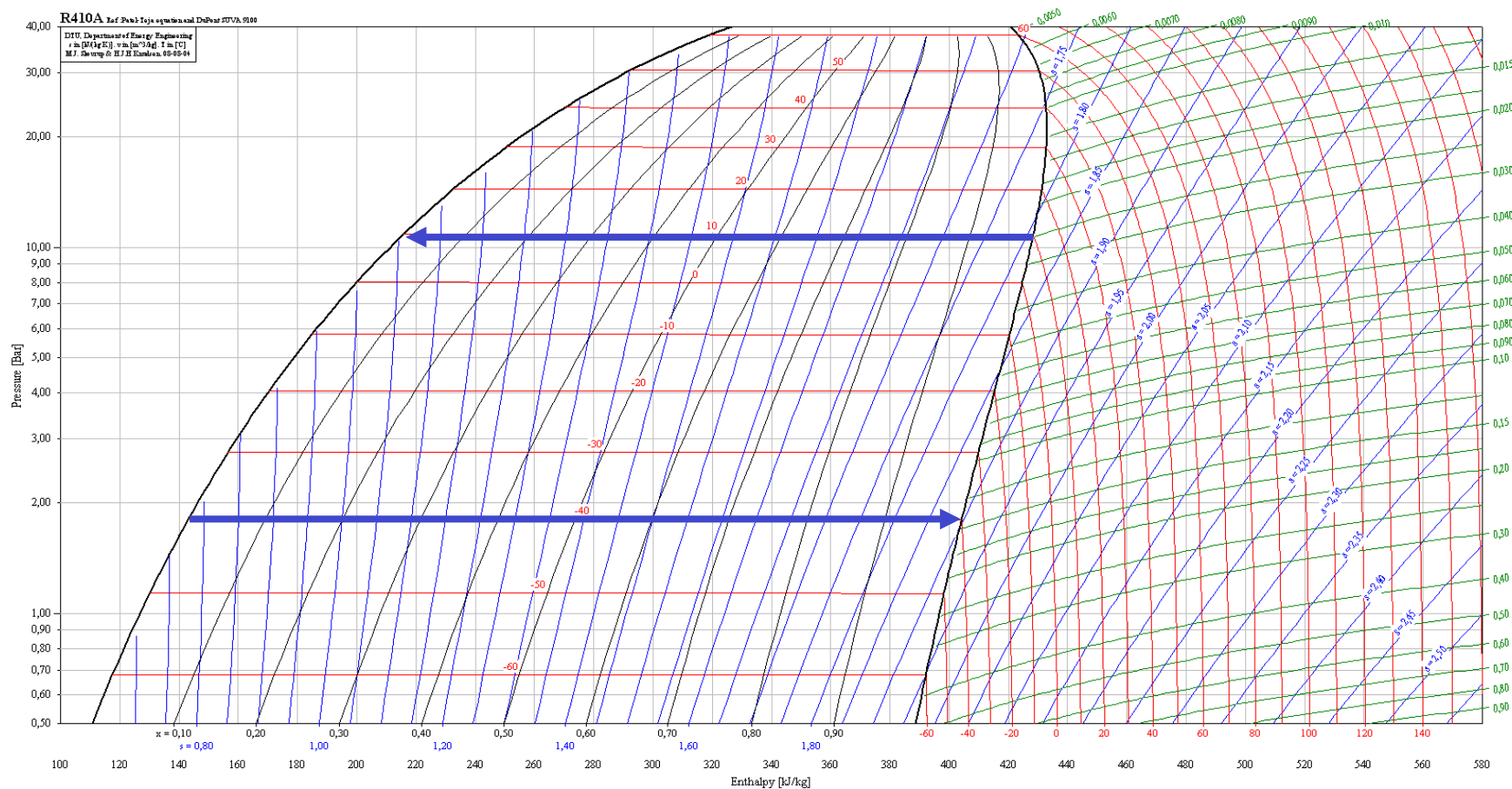
Fluido puro: la presión y la temperatura son constantes durante el cambio de fase, por lo que una puede definirse a partir de la otra.

Durante el cambio de fase:

$$P \rightarrow T \text{ y } T \rightarrow P$$

3.1. INTRODUCCIÓN A LOS REFRIGERANTES

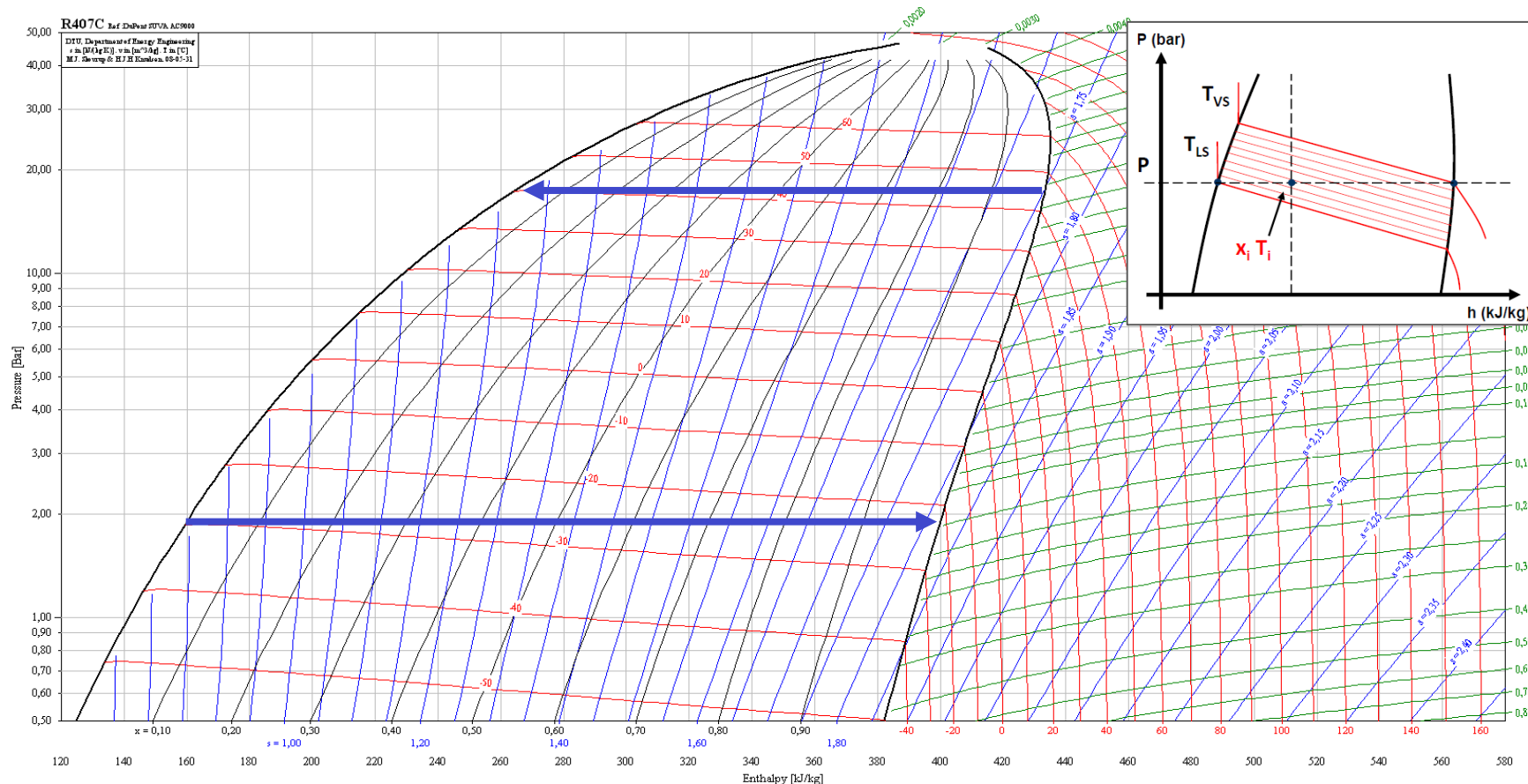
Clasificación básica



Mezcla azeotrópica:
 La composición y la temperatura azeotrópica no varían de forma apreciable a medida que el azeótropo se evapora o se condensa a presión constante.

3.1. INTRODUCCIÓN A LOS REFRIGERANTES

Clasificación básica



Mezcla zeotrópica: a presión constante, durante el cambio de fase líquido-vapor, la temperatura y la composición de una mezcla zeotrópica varían. El diagrama P-T necesita otro parámetro para definirse

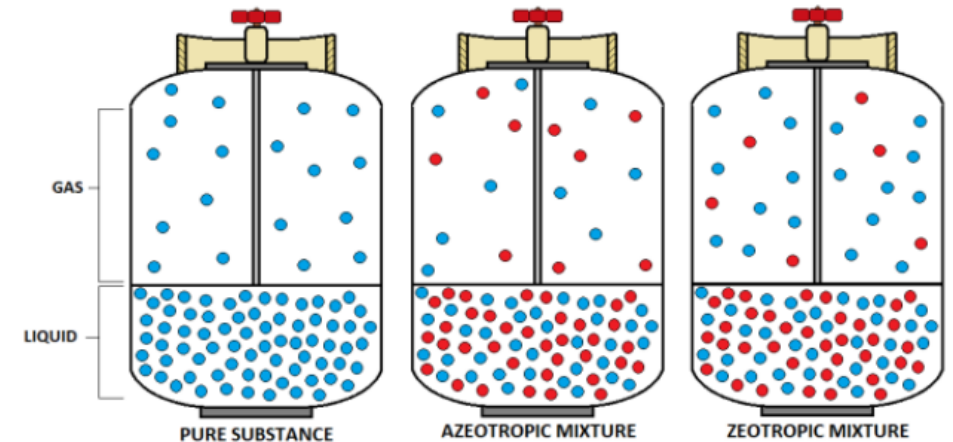
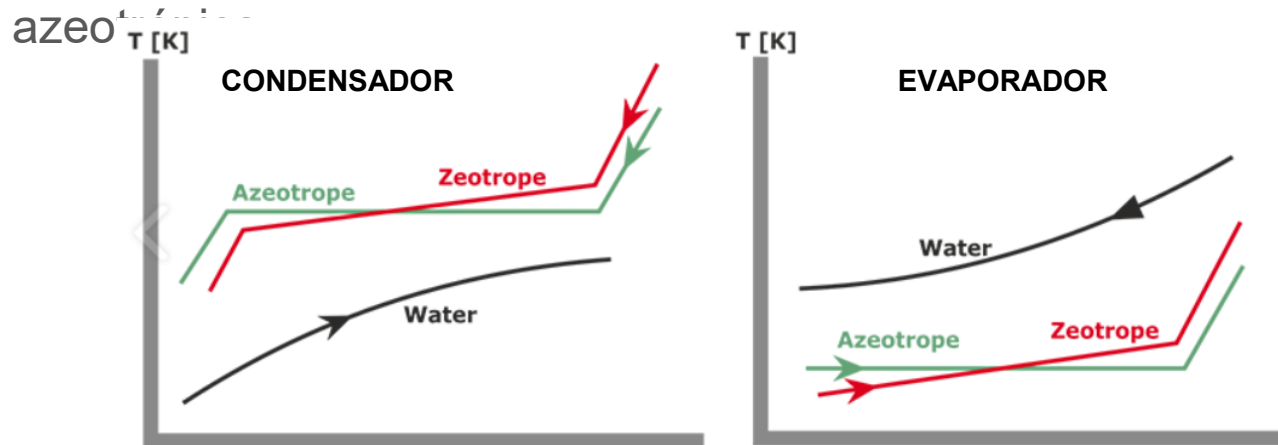
3.1. INTRODUCCIÓN A LOS REFRIGERANTES

Clasificación básica

Mezclas:

Las mezclas zeotrópicas requieren medidas especiales para la determinación de sus propiedades, el cálculo de sus parámetros, su manipulación, etc.

Una mezcla zeotrópica con un deslizamiento de temperatura inferior (por debajo de 0,5 a 1 K, según la fuente) se denomina casi azeotrópica y, en la práctica, puede considerarse una mezcla azeotrópica.



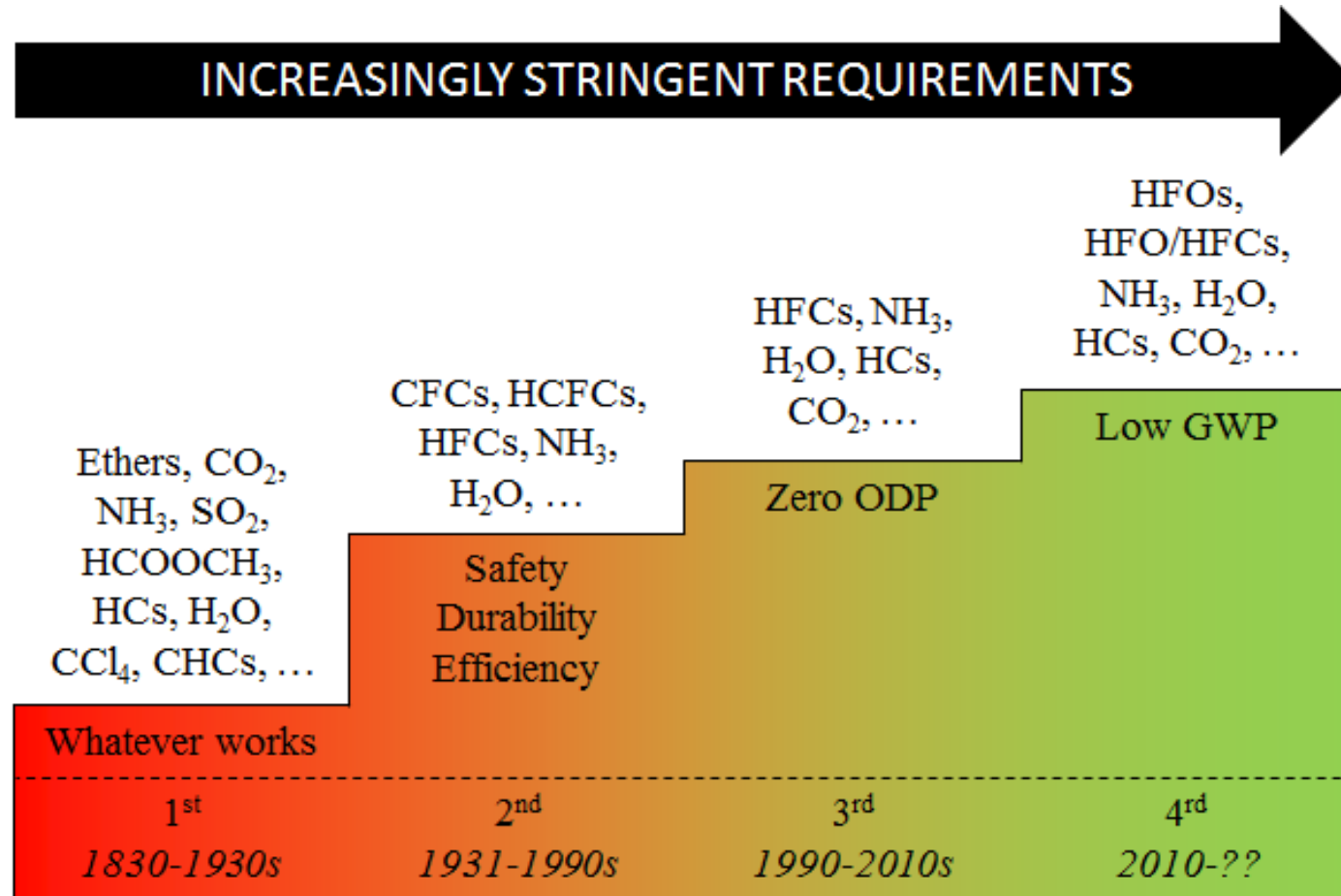
SWEP International AB. (s. f.). Intercambiadores de calor de placas soldadas para aplicaciones de climatización e industriales. <https://www.swepgroup.com/>

Silva-Alvarado, O., Sánchez-Cruz, F. A., y [otros autores]. (2022). Refrigerantes zeotrópicos: análisis de imágenes para la medición de la fracción de vacío en la entrada del evaporador para el R-404A. En Memorias del XXVIII Congreso Internacional Anual de la SOMIM (pp. 162–[página final]). Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica.

https://somim.org.mx/memorias/memorias2022/articulos/A4_107.pdf

SHaKE - intercambio de calor y conocimientos sobre comunidades energéticas 2023-1-HU01-KA220-HED-000160219

3.2. HISTORIA Y EVOLUCIÓN



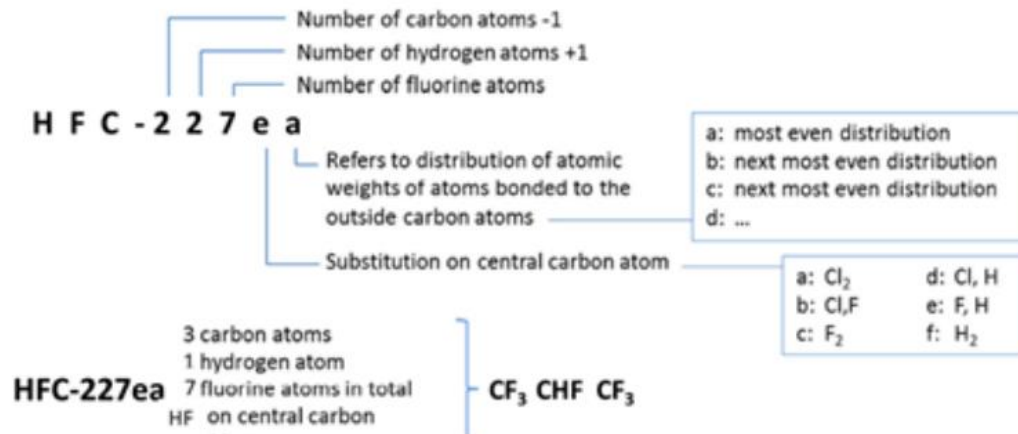
Mota-Babiloni, Adrián. (2016). Análisis de fluidos de trabajo fluorados con bajo potencial de calentamiento global en sistemas de compresión de vapor. Evaluación experimental de alternativas de refrigeración comercial. 10.13140/RG.2.1.1444.5685.

3.3. DENOMINACIÓN Y PROPIEDADES

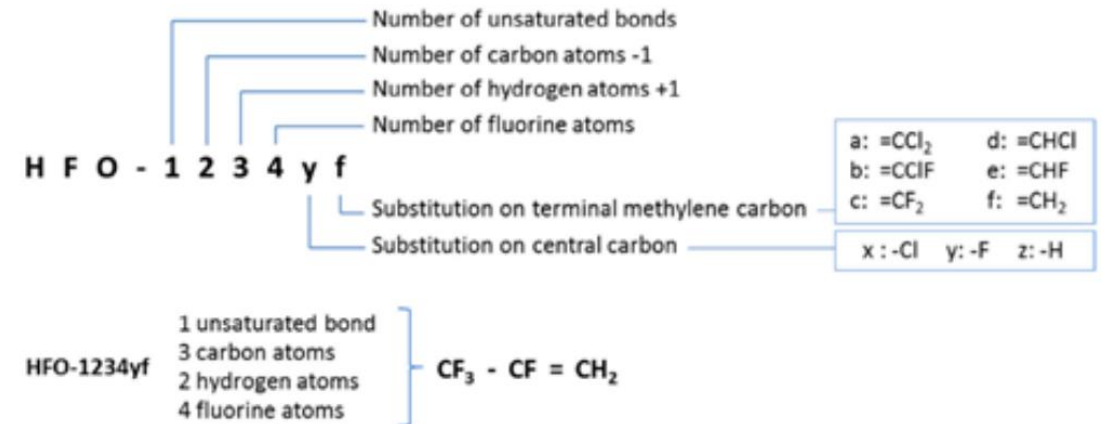
Denominación

La norma ASHRAE 34 establece un sistema de nomenclatura para los refrigerantes comunes y les asigna clasificaciones de seguridad.

Propane-derived chains (3 carbon atoms)



Hidrofluoroolefinas, isómeros y estereoisómeros



En el caso de los **dobles enlaces**, puede ser necesario indicar las configuraciones **cis** (sustituyentes situados en el mismo lado del doble enlace) y **trans** (sustituyentes situados en lados opuestos del doble enlace).

En el caso del HFO-1336mzz(Z), la «**m**» indica **CF₃** (las letras de la a a la l indican otros grupos) y los dos «**z**» indican **H** en el carbono central **C=C**

3.3. DENOMINACIÓN Y PROPIEDADES

Propiedades: Seguridad

Toxicidad

Inflamabilidad

Definida por la norma ASHRAE 34 (internacional), luego por la norma EN 378 (Europa) y, a continuación, depende del país

Inflamabilidad
creciente

	Lower Toxicity	Higher Toxicity
Higher Flammability	A3	B3
Lower Flammability	A2	B2
	A2L	B2L
No Flame propagation	A1	B1

La clasificación influye en la cantidad máxima de carga de refrigerante para cada aplicación de refrigeración

Toxicidad creciente

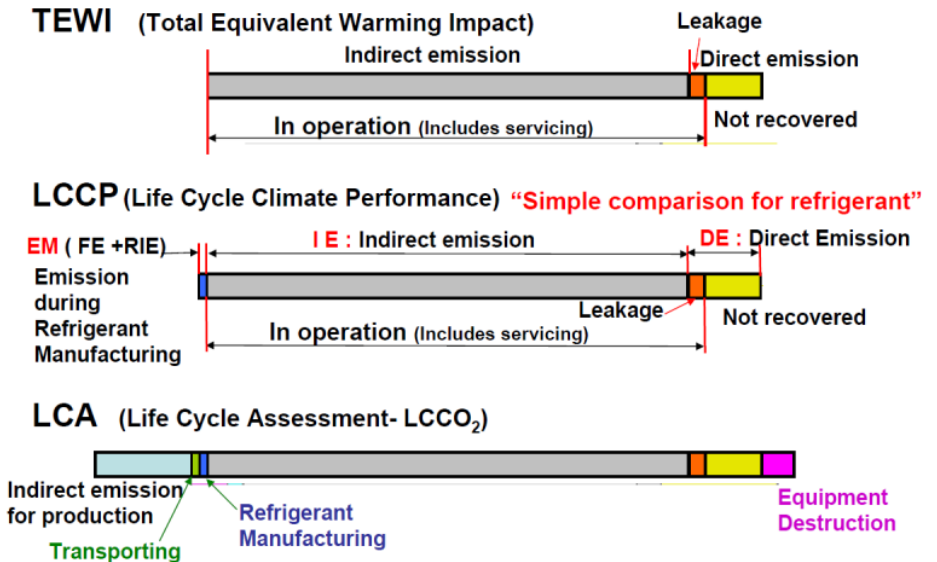
A: No se ha identificado toxicidad en concentraciones ≤ 400 ppm por volumen.

3.4. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

Resumen de indicadores medioambientales

- **ODP:** Mide la degradación del ozono estratosférico en comparación con el R-11.
- **GWP:** Mide el impacto relativo de un refrigerante en la retención de calor en comparación con el CO₂ durante un periodo de tiempo específico.
- **TEWI:** Evalúa el efecto combinado de calentamiento provocado por las fugas de refrigerante y el consumo de energía, pero no incluye la fabricación.
- **LCCP:** tiene en cuenta el impacto climático total a lo largo de todo el ciclo de vida de un refrigerante, incluyendo la producción, el uso y la eliminación.
- **LCA:** Evalúa de forma general los impactos medioambientales en múltiples categorías a lo largo de la vida útil de un producto.

Representación gráfica de las emisiones equivalentes de CO₂:



3.4. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

GWP

El potencial de calentamiento global (GWP) mide el impacto relativo de un gas de efecto invernadero en términos de su capacidad para retener el calor durante un periodo de tiempo específico, normalmente 20, 100 o 500 años, en comparación con el dióxido de carbono (CO_2), que tiene un GWP de 1 por definición. El GWP tiene en cuenta la cantidad de energía que absorbe un gas, su vida útil en la atmósfera y su concentración a lo largo del tiempo. El GWP de una sustancia durante un periodo de tiempo tt viene dado por la ecuación:

$$\text{GWP}_{\text{gas},t} = \frac{\int_0^t a_{\text{gas}} \cdot C_{\text{gas}}(t) dt}{\int_0^t a_{\text{CO}_2} \cdot C_{\text{CO}_2}(t) dt}$$

donde:

a_{gas} : Eficiencia radiativa del gas (la cantidad de calor que retiene por unidad de masa).

$C_{\text{gas}}(t)$: concentración del gas en la atmósfera a lo largo del tiempo. tt : horizonte temporal (normalmente 20, 100 o 500 años).

a_{CO_2} : Eficiencia radiativa del CO_2 .

$C_{\text{CO}_2}(t)$: concentración de CO_2 a lo largo del tiempo.

El GWP nos indica en qué medida una masa determinada de un refrigerante (u otros gases de efecto invernadero) contribuye al calentamiento global en comparación con la misma masa de CO_2 .

3.4. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

TEWI

1) Emisiones directas: fugas accidentales y pérdidas de refrigerante durante las fases de funcionamiento, mantenimiento y eliminación al final de la vida útil. Se calculan de la siguiente manera:

$$\text{Emisiones directas} = \text{Tasa de fuga} \times \text{Carga} \times \text{GWP} + \text{Emisiones al final de la vida útil} \times \text{Carga} \times \text{GWP}$$

- Tasa de fuga: porcentaje anual de fuga del refrigerante.
- Carga: Carga total de refrigerante (masa de refrigerante en el sistema).
- Emisiones al final de la vida útil: porcentaje de refrigerante perdido o no recuperado en el momento de la eliminación.

2) Emisiones indirectas: Emisiones equivalentes de CO₂ resultantes del consumo energético del sistema a lo largo de su vida útil. Se calculan de la siguiente manera:

$$\text{Emisiones indirectas} = \text{Consumo energético anual} \times \text{Vida útil} \times \text{Factor de emisión}$$

- Consumo energético anual: la energía consumida por el sistema en un año.
- Vida útil: Vida útil prevista del sistema.
- Factor de emisión: Emisiones de CO₂ por unidad de energía consumida, en función de la combinación de fuentes de generación de electricidad.

3.4. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

LCCP

El rendimiento climático a lo largo del ciclo de vida (LCCP) evalúa el **impacto climático total** de un refrigerante a lo largo de su **ciclo de vida**, teniendo en cuenta tanto las emisiones directas como las indirectas. Las emisiones directas se producen cuando se libera el refrigerante (a través de fugas o su eliminación), mientras que las emisiones indirectas provienen de la energía necesaria para el funcionamiento de los equipos de refrigeración. La fórmula general para calcular el LCCP es:

$$\text{LCCP} = E_{\text{direct}} + E_{\text{indirect}} + E_{\text{manufacturing}} + E_{\text{end-of-life}}$$

- E_{direct} : Emisiones directas procedentes de fugas o liberaciones de refrigerante durante el funcionamiento y el mantenimiento:

$$E_{\text{direct}} = \text{GWP} \times \text{cantidad fugada}$$

- E_{indirect} : Emisiones indirectas derivadas de la energía consumida por el sistema:

$$E_{\text{indirect}} = \text{Consumo energético total} \times \text{factor de emisión de la fuente de energía}$$

- $E_{\text{manufacturing}}$: Emisiones procedentes de la producción y el transporte del refrigerante.
- $E_{\text{end-of-life}}$: Emisiones derivadas de la eliminación o la recuperación al final de la vida útil del sistema.

3.4. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

ACV

El análisis del ciclo de vida (ACV) es una evaluación sistemática de los impactos medioambientales asociados a todas las etapas del ciclo de vida de un producto, desde la extracción de las materias primas hasta la producción, el uso y la eliminación. A diferencia del LCCP, el ACV abarca diversas categorías de impacto más allá del cambio climático, como el agotamiento de los recursos, la acidificación y la eutrofización.

El impacto a lo largo del ciclo de vida de un refrigerante o sistema puede calcularse mediante:

Inventario : Cantidad de cada factor medioambiental (por ejemplo, emisiones de CO₂, consumo de agua, consumo de energía) en cada etapa del ciclo de vida.

Factor de impacto: coeficiente que representa el impacto medioambiental por unidad de cada factor.

$$LCA_{\text{total}} = \sum_{i=1}^n \text{Inventory}_i \times \text{Impact Factor}_i$$

3.5. REFRIGERANTES ACTUALES Y APLICACIONES

La mayoría de las normativas a lo largo del tiempo

Protocolo de
Montreal (1987)

Protocolo de
Kioto (1995)

Acuerdo de
París (2015)

Enmienda de
Kigali al
Protocolo de
Montreal (2016)

Reglamento
sobre gases
fluorados y
Directiva MAC

(2006)

Cambio climático
HFC
HFO, NatRef

Reglamento
sobre gases
fluorados (2014)

Revisión del
Reglamento
sobre gases
fluorados (2024)

PFAS y TFA
¿HFO?
NatRef

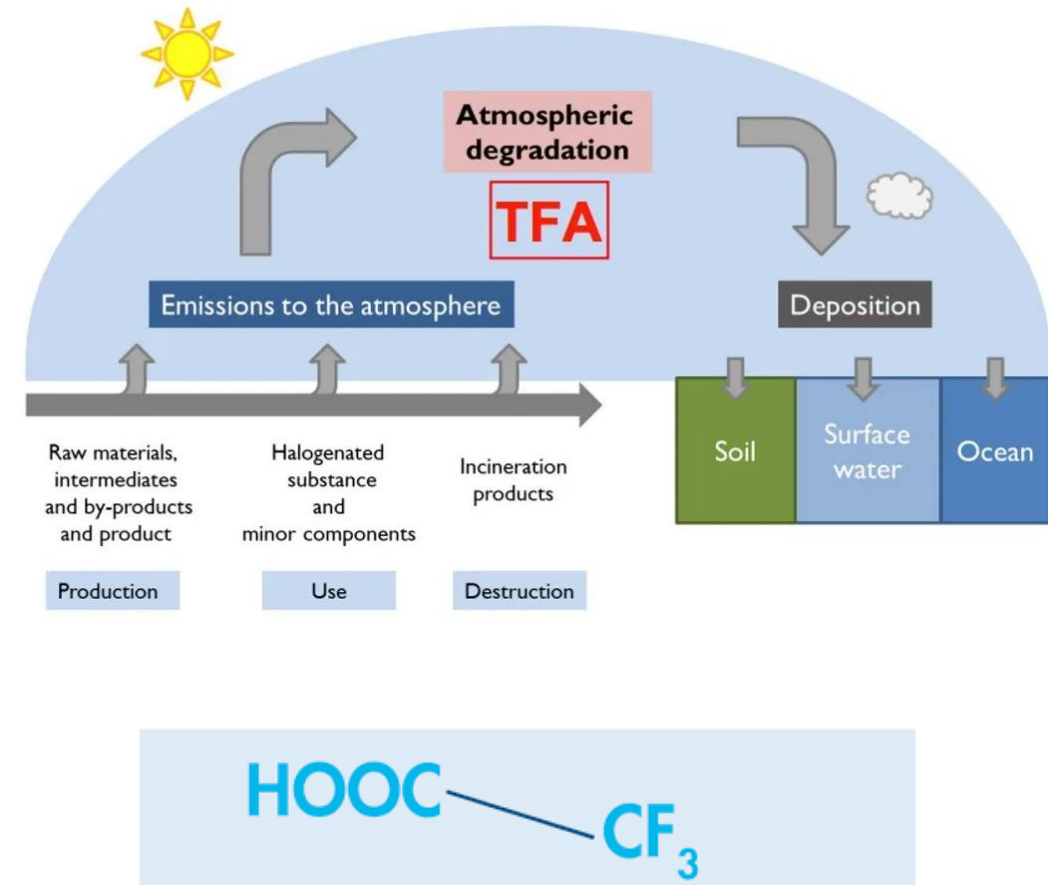
Protección del
ozono
HCFC y CFC
HFC

3.5. REFRIGERANTES ACTUALES Y APLICACIONES

TFA

Ácido trifluoroacético (TFA): compuesto organofluorado $\text{CF}_3\text{CO}_2\text{H}$

- Se forma a partir de la descomposición atmosférica de los refrigerantes (producto de degradación).
- Informe de la Agencia Federal Alemana de Medio Ambiente.
- El 5 % es de origen humano (fabricación, agricultura, tratamiento de aguas residuales y refrigerantes).
- El R1234yf produce un 100 % de TFA, el R134a entre un 7 % y un 20 %, y el R1234ze(E) menos del 10 %
- El R1336mzz(Z) produce menos del 20 %, y el R1233zd(E), solo un 2 %.



3.5. REFRIGERANTES ACTUALES Y APLICACIONES

PFAS

Sustancias alquílicas perfluoradas y polifluoradas (PFAS)

- Más de 4.700 «sustancias químicas eternas»
- Los PFAS pueden ser perjudiciales para la salud humana.
- Abarcan una amplia gama de gases fluorados, incluidos determinados HFC (R134a, R125, R143a y R152a) y HFO (R1234yf, R1234ze(E) y R1233zd(E)) utilizados en aplicaciones de climatización y refrigeración. El TFA es un PFAS (CF3- y CF2-)
- El estado de Maine (EE. UU.) se convirtió en la primera administración pública en prohibir la venta de productos que contengan PFAS a partir del 1 de enero de 2030
- Véase el informe de la Agencia Noruega de Medio Ambiente



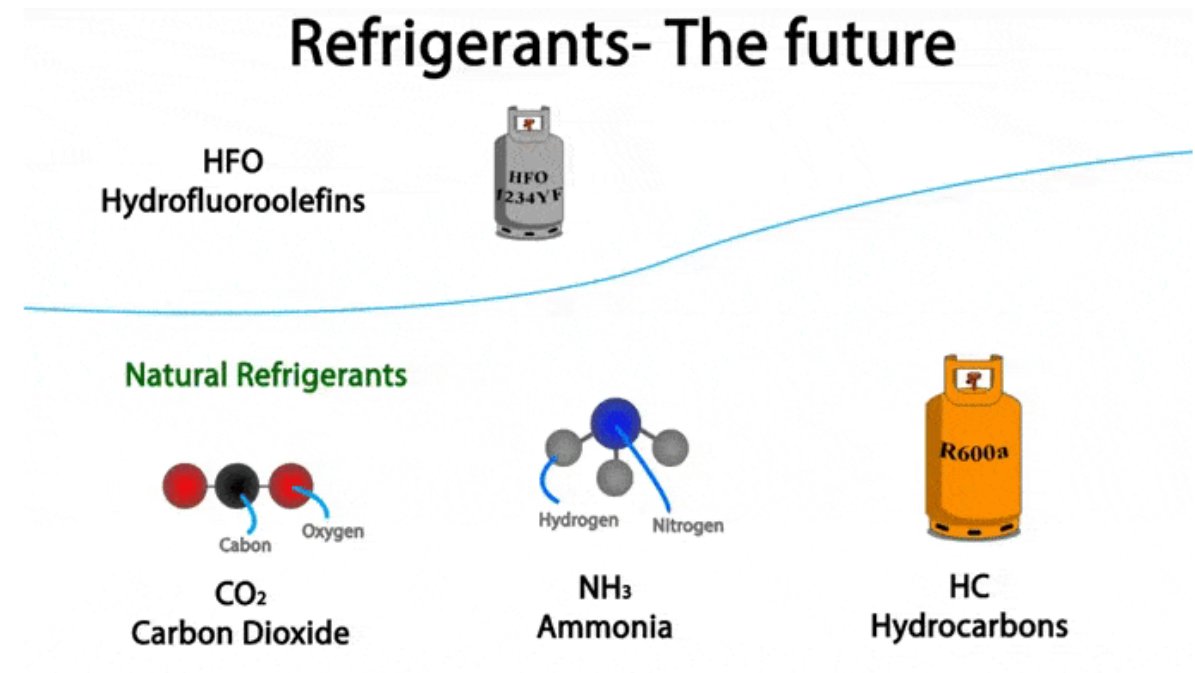
3.5. REFRIGERANTES ACTUALES Y APLICACIONES

Refrigerantes naturales

Los refrigerantes naturales se consideran una opción más segura y sostenible para sustituir a los HFO.

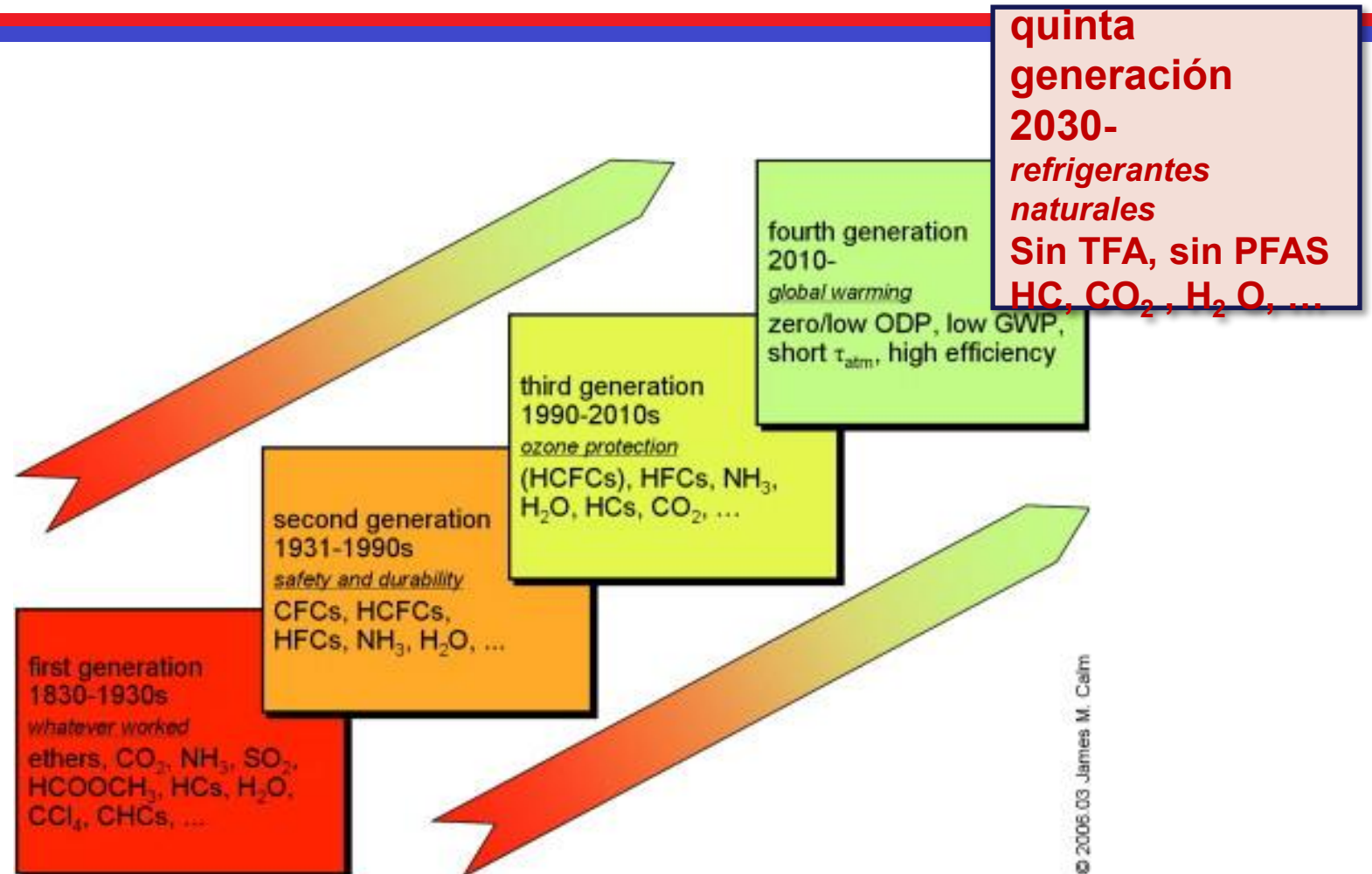
Estos refrigerantes no generan subproductos nocivos como los TFA o el HF durante su descomposición en la atmósfera, y no tienen potencial de agotamiento del ozono (ODP) y presentan un potencial de calentamiento global (GWP) mucho menor.

Los más comunes son: CO_2 , NH_3 y los hidrocarburos.



3.6. EL FUTURO DE LOS REFRIGERANTES

Si se observa la historia y la evolución, la tendencia actual es volver a los refrigerantes naturales, ya que no presentan ODP, tienen un bajo GWP y no forman TFA. Sin embargo, es necesario tener en cuenta la seguridad de dichos refrigerantes y desarrollar estrategias para garantizar la seguridad de las instalaciones que contienen refrigerantes naturales.



3.5. REFRIGERANTES ACTUALES Y APLICACIONES

Refrigerantes más utilizados (sintéticos)

Refrigerante	Tipo	Aplicación	POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL	Clasificación de seguridad
R-410A	HFC	Es habitual en bombas de calor reversibles, aunque su elevado GWP está provocando su retirada progresiva en favor de refrigerantes con un GWP más bajo.	2088	A1
R-32	HFC	Sistemas residenciales y pequeños sistemas comerciales como alternativa al R-410A con un GWP más bajo.	675	A2L
R-134a	HFC	Ampliamente utilizado en aplicaciones comerciales, aunque se está retirando progresivamente debido a su elevado potencial de calentamiento global (GWP).	1430	A1
R-513A	HFO/HFC	Se utiliza en aplicaciones comerciales e industriales como sustituto del R-134a con un bajo potencial de calentamiento global (GWP).	573	A1
R-450A	HFO/HFC	Otro sustituto del R-134a con bajo potencial de calentamiento global (GWP) para sistemas que requieren una función dual de calefacción y refrigeración.	547	A1
R-1234yf	HFO	Se utiliza principalmente en sistemas de aire acondicionado de automóviles y, cada vez más, en bombas de calor para sistemas industriales y comerciales.	<1	A2L
R-1234ze(E)	HFO	Sistemas industriales y comerciales.	<1	A2L
R-1233zd(E)	HFO	Se utiliza principalmente en grandes enfriadoras y bombas de calor para edificios industriales y comerciales.	1	A1

3.5. REFRIGERANTES ACTUALES Y APLICACIONES

Refrigerantes más utilizados (naturales)

Refrigerante	Tipo	Aplicación	POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL	Clasificación de seguridad
R-744 (CO ₂)	Natural	Se utiliza en refrigeración comercial e industrial, bombas de calor para el calentamiento de agua y supermercados. El CO ₂ es preferido por su muy bajo GWP, aunque su elevada presión de funcionamiento requiere diseños de sistemas especializados.	1	A1
R-290	Natural	Se emplea en sistemas residenciales y comerciales tanto para calefacción como para refrigeración, especialmente en sistemas de capacidad baja a media.	3	A3
R717 (NH ₃)	Natural	Se utiliza principalmente en la refrigeración industrial y comercial a gran escala, como en el procesamiento de alimentos y el almacenamiento en frío	0	B2L
R-600	Natural	Se utiliza en pequeños aparatos de refrigeración, como frigoríficos domésticos y algunos congeladores comerciales.	3	A3
R-600a	Natural	Se utiliza habitualmente en frigoríficos domésticos, pequeños congeladores comerciales y bombas de calor.	3	A3

3.7. CONCLUSIONES

- La historia de los refrigerantes nos ayuda a comprender los requisitos de las normas
- Una vez que se comercializaron las aplicaciones de refrigeración comercial y bombas de calor, la mayor parte de los esfuerzos se centraron en encontrar el refrigerante más sostenible.
- Para cada aplicación existe un refrigerante óptimo. Sin embargo, el refrigerante perfecto no existe.
- Siempre es necesario encontrar un equilibrio entre las perspectivas termodinámicas, técnicas, de seguridad, económicas y medioambientales.
- Los refrigerantes alternativos para los sistemas existentes y los nuevos (de sustitución directa o de adaptación) difieren entre sí. Estos últimos se tienen en cuenta cuando existen diferentes requisitos de seguridad o condiciones de funcionamiento.
- El futuro se orientará hacia los refrigerantes naturales para evitar cualquier problema medioambiental.
- Los sistemas DHN y DCN pueden ayudar a transferir calor y a utilizar refrigerantes con requisitos de seguridad más estrictos, ya que permiten diseñar sistemas de compresión de vapor de gran tamaño y aislados.

4.1. INTRODUCCIÓN A LOS ASPECTOS ECONÓMICOS Y MEDIOAMBIENTALES

Alternativa a

- los sistemas de aire acondicionado split, las bombas de calor, las enfriadoras y los sistemas VRF
- Sistemas tradicionales = una unidad por piso o zona

Ventajas de la DCN

- Refrigeración centralizada para varios edificios
- Mayor eficiencia energética
- Menores costes de equipamiento
- Mayor sostenibilidad con el mismo nivel de confort

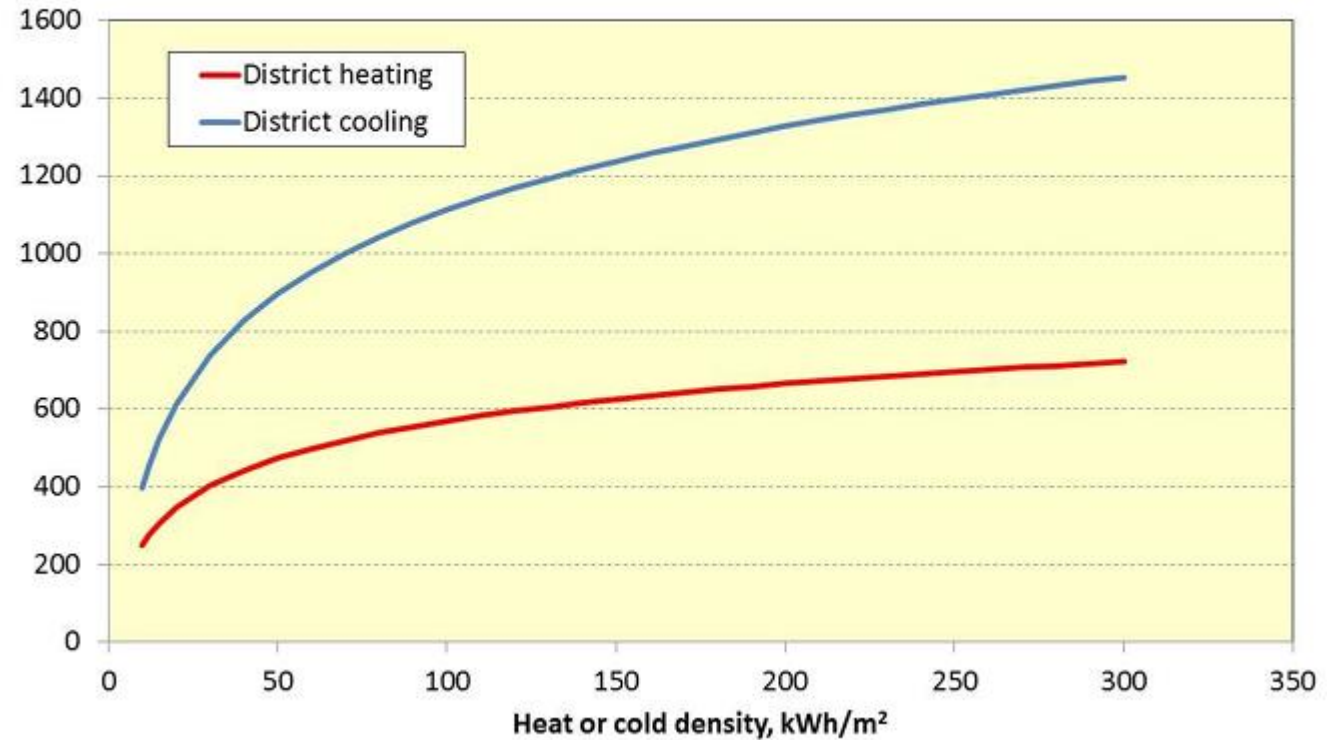
Retos

- Elevada inversión en infraestructuras (tuberías de refrigeración)
- La viabilidad económica depende de la escala y el contexto
- Menos fuentes de refrigeración residual

Consideraciones

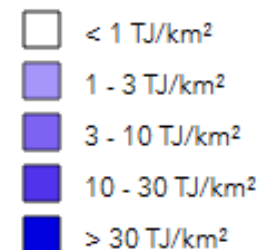
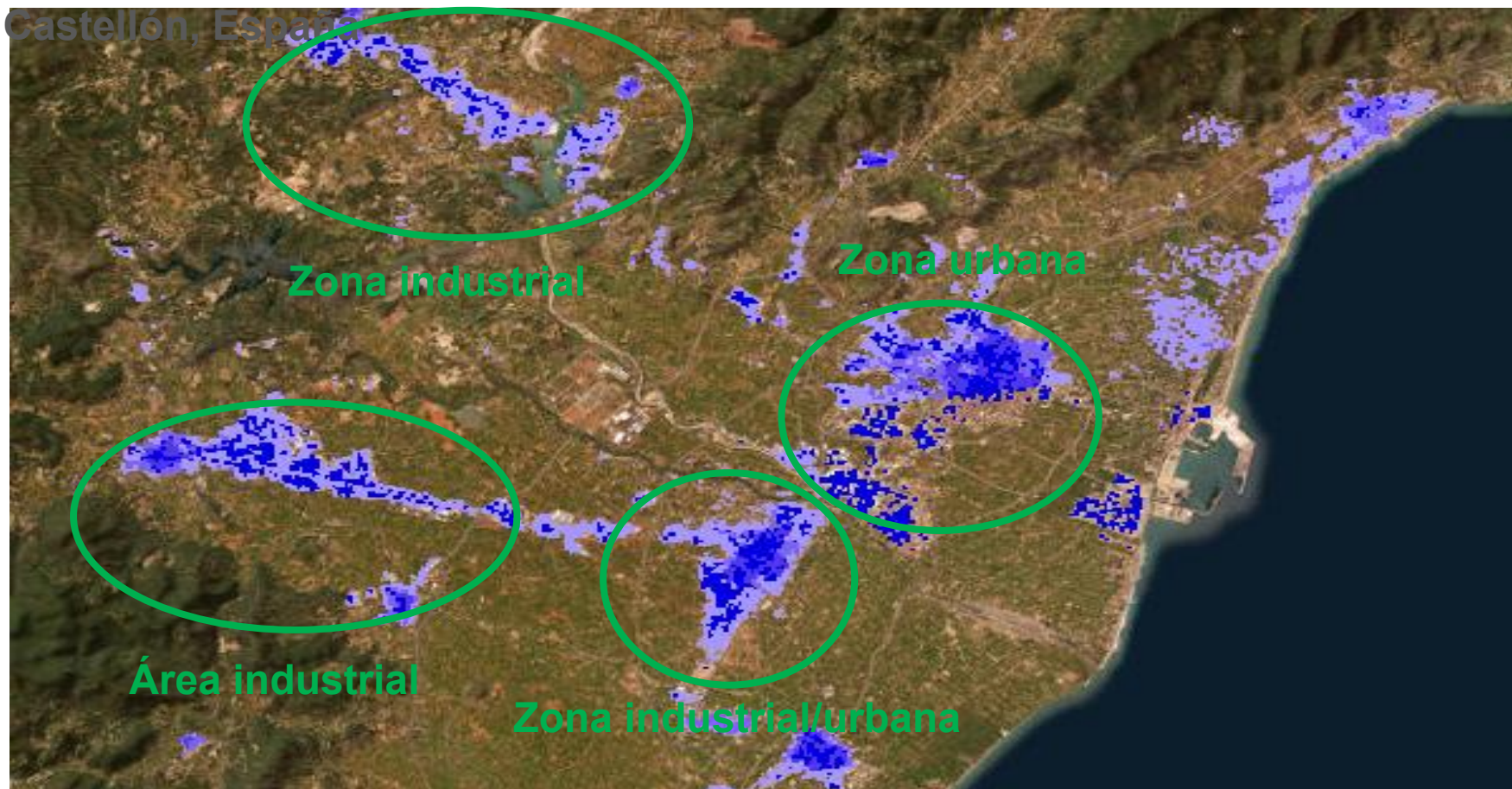
- Comparte ventajas e inconvenientes con la calefacción urbana
- Depende de los marcos legales y políticos

Investment cost per trench length, EUR/m



4.2. DEMANDA DE DENSIDAD

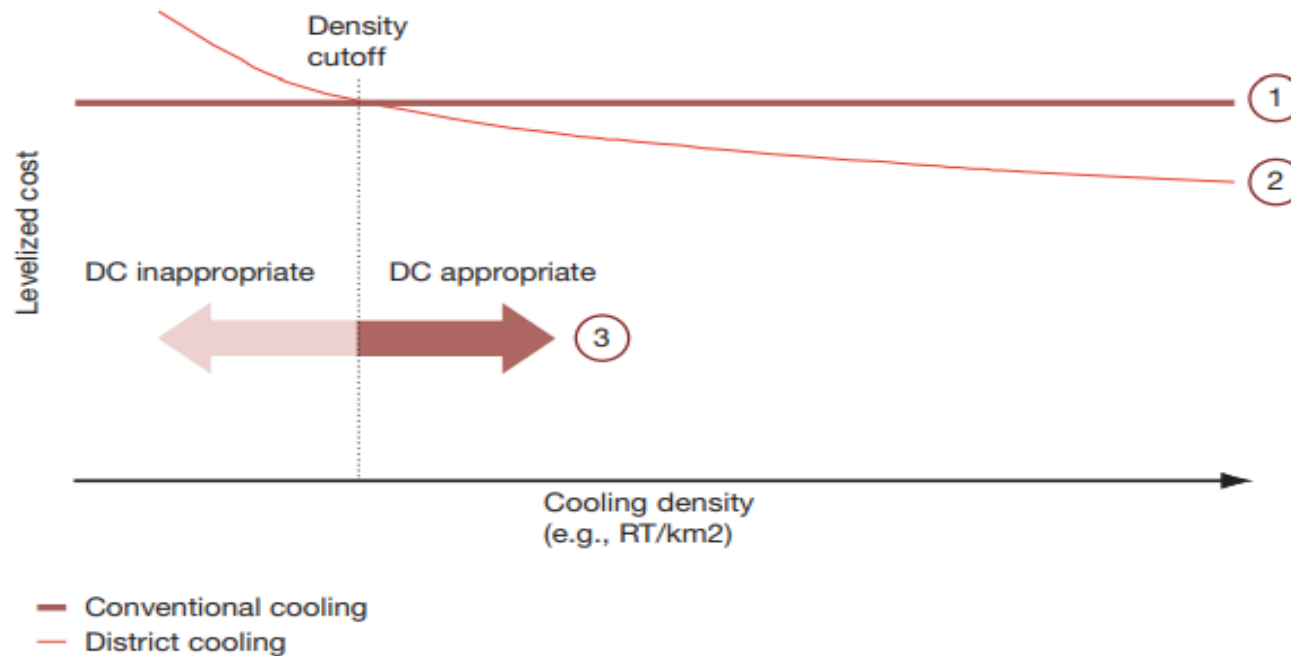
Demanda de refrigeración (2015),
Castellón, España



Este es un ejemplo de municipios en España que ofrecen la oportunidad de implantar la refrigeración urbana (demanda de alta densidad)

4.2. DEMANDA DE DENSIDAD

Umbral de densidad Cost of Cooling Technologies vs. Cooling Density



- ① Conventional cooling costs do not depend on cooling density
- ② District cooling costs decrease with increasing cooling density because of lower relative network costs
- ③ District cooling is more cost effective than conventional cooling only where cooling densities are above the "density cutoff"

Note: RT/km² = refrigeration tons per square kilometer. Levelized Cost = price required to break even.

Source: Strategy&

4.2. DEMANDA DE DENSIDAD

Análisis de la demanda de densidad (1)

1. Recopilación y preprocesamiento de datos

- **Datos de los edificios:** tipos, uso (residencial, comercial, industrial), dimensiones, ocupación, demanda histórica
- **Datos climáticos:** temperatura, humedad, radiación solar
- **Patrones energéticos:** perfiles de consumo en horas punta y fuera de horas punta

2. Estimación de la carga de refrigeración

- **Herramientas de simulación dinámica:** p. ej., TRNSYS, EnergyPlus
- **Cargas de refrigeración por hora** basadas en la envolvente, el sistema de climatización y las ganancias internas
- **Identificación de la carga máxima:** fundamental para el dimensionamiento de los componentes del sistema



4.3. VIABILIDAD DE LA REFRIGERACION URBANA EN COMPARACIÓN CON OTRAS TECNOLOGÍAS

1. **Costes de inversión:** Los sistemas DCN tienen unos costes iniciales elevados, pero las economías de escala los hacen rentables en zonas densamente pobladas, a diferencia de los sistemas autónomos más baratos que cuentan con equipos duplicados.
2. **Costes operativos:** Los sistemas DCN son más eficientes desde el punto de vista energético y su mantenimiento resulta más económico gracias a la centralización de las operaciones, mientras que los sistemas convencionales tienen unos costes a largo plazo más elevados.
3. **Ahorro a largo plazo:** La red de refrigeración urbana (DCN) ofrece un ahorro significativo de costes a lo largo del tiempo, mientras que los sistemas autónomos conllevan unos costes totales de propiedad más elevados.
4. **Ingresos:** La DCN genera flujos de ingresos estables a través de contratos, a diferencia de los sistemas convencionales.
5. **Riesgo:** La DCN presenta un mayor riesgo financiero inicial, pero ofrece beneficios estables a largo plazo; los sistemas convencionales tienen menores riesgos de puesta en marcha, pero sus costes operativos son volátiles.
6. **Beneficios externos:** La DCN reduce las cargas máximas urbanas y apoya las economías locales, mientras que los sistemas autónomos tienen un impacto más amplio limitado.

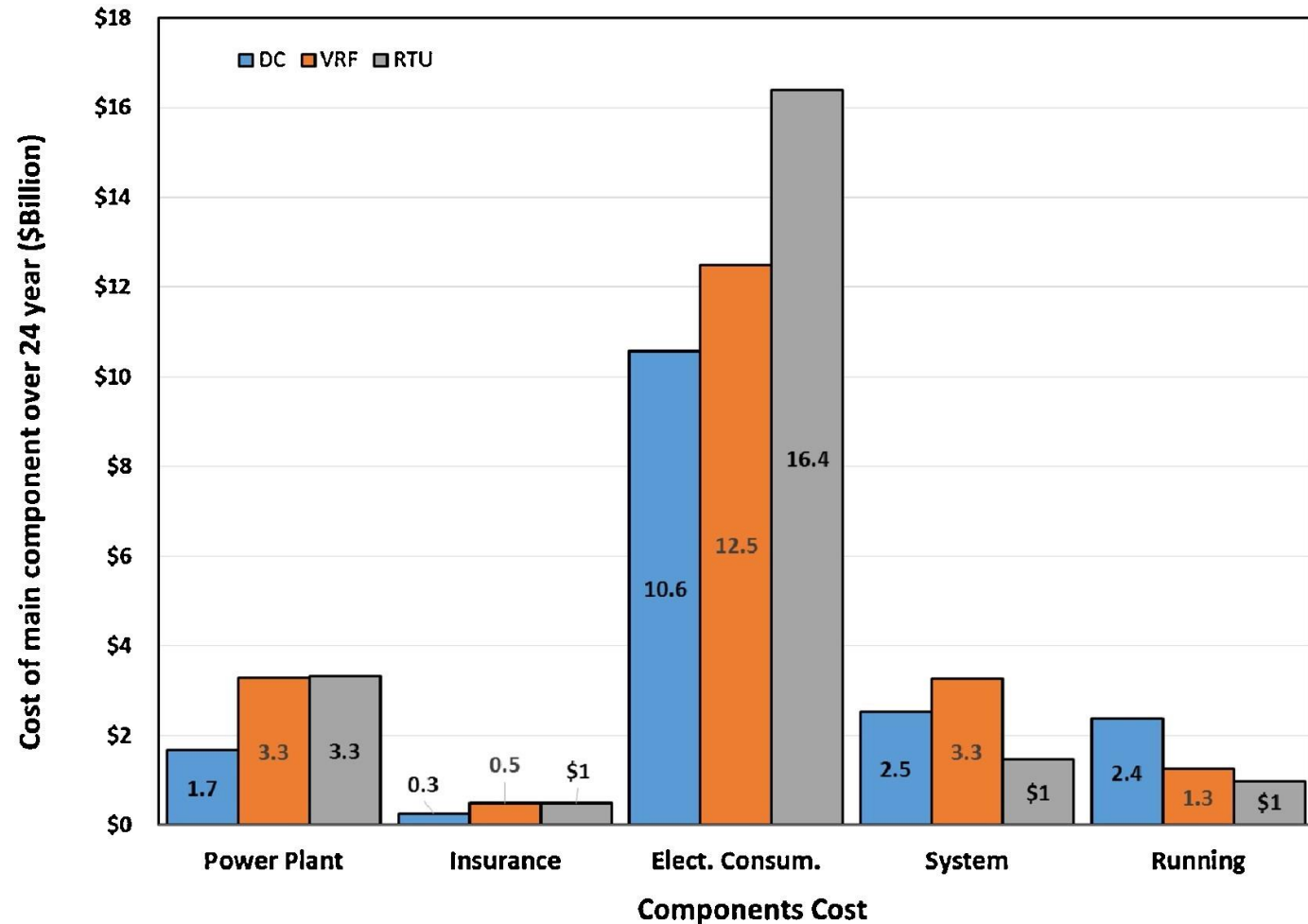


4.3. VIABILIDAD DE LA REFRIGERACIÓN URBANA EN COMPARACIÓN CON OTRAS TECNOLOGÍAS

Emisiones de carbono

Estudio de Alajmi y Zedan (2020) en Kuwait.

- El coste total se reduce de 22 669 M\$ para los sistemas RTU y de 20 829 M\$ para los sistemas VRF a 17 395 M\$ para el sistema de refrigeración urbana.
- El sistema RTU necesita 660 200 unidades de refrigeración, el sistema VRF necesita 220 800 unidades de refrigeración, mientras que el sistema de refrigeración urbana solo necesita 624 unidades. Esto influye
 - el número de horas de trabajo necesarias para el servicio técnico, el mantenimiento y el funcionamiento de las unidades
 - el espacio que ocupa el sistema de refrigeración en la azotea del edificio residencial.
 - el número de piezas de recambio necesarias
 - el aumento del riesgo de fugas de refrigerante.



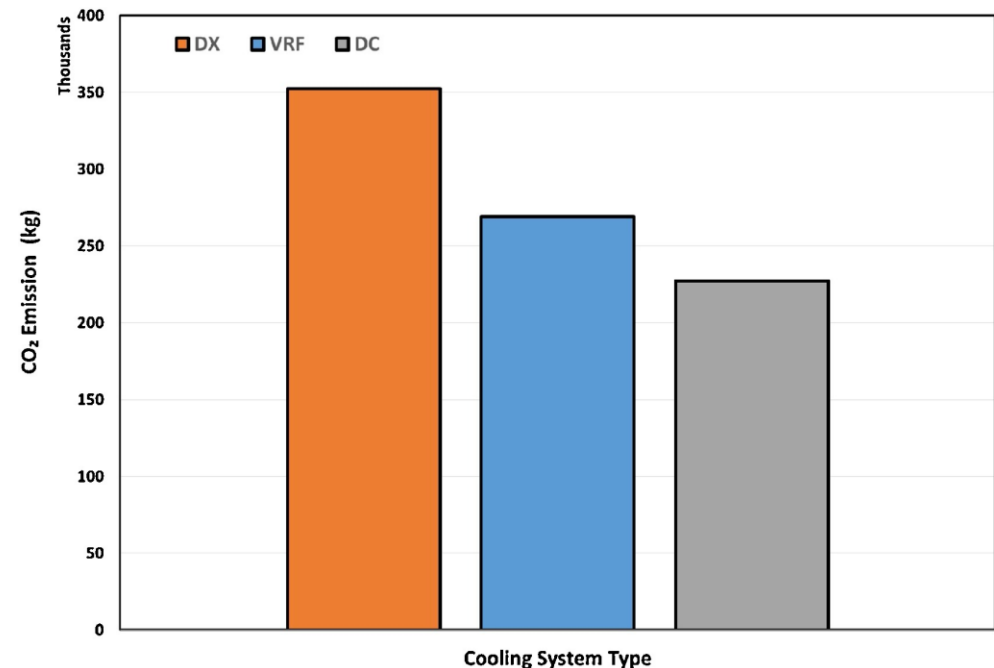
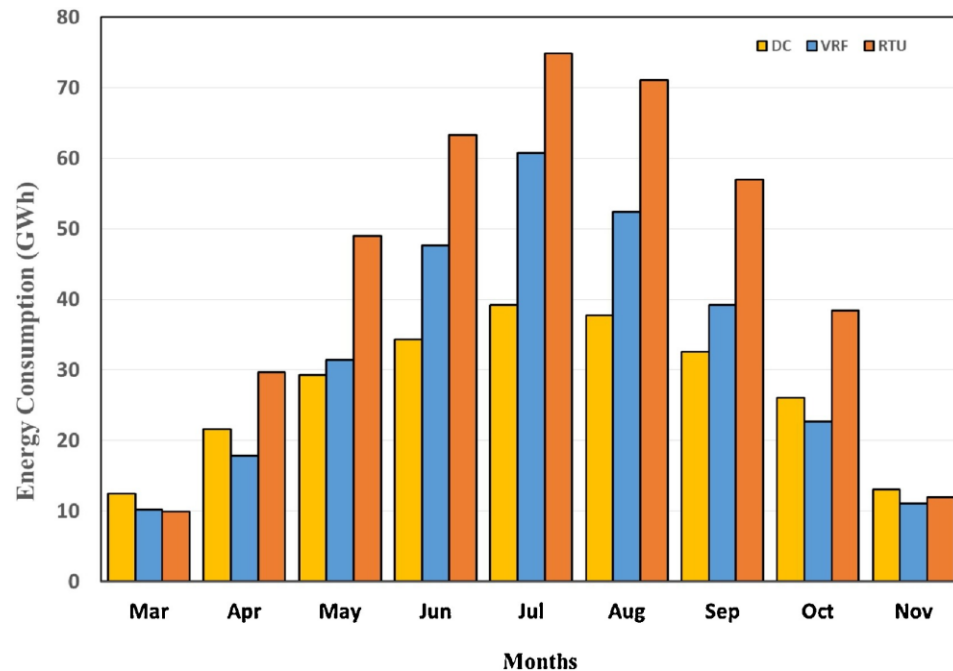
Ali Alajmi, Mohamed Zedan, «Análisis energético, económico y medioambiental de los sistemas de refrigeración individuales y de distrito para una nueva ciudad residencial», Sustainable Cities and Society, volumen 54, 2020, 101976, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101976>.

4.4. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA REFRIGERACIÓN URBANA

Emisiones de carbono (2)

Estudio de Alajmi y Zedan (2020) en Kuwait.

- El elevado factor de emisión de CO₂ hace que la alta eficiencia energética sea aún más importante.



Ali Alajmi, Mohamed Zedan, «Análisis energético, económico y medioambiental de los sistemas de refrigeración individuales y de distrito para una nueva ciudad residencial», Sustainable Cities and Society, volumen 54, 2020, 101976, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101976>.

4.5. OPTIMIZACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE REFRIGERACIÓN URBANA

Optimización económica para la reducción de los costes operativos

Economías de escala

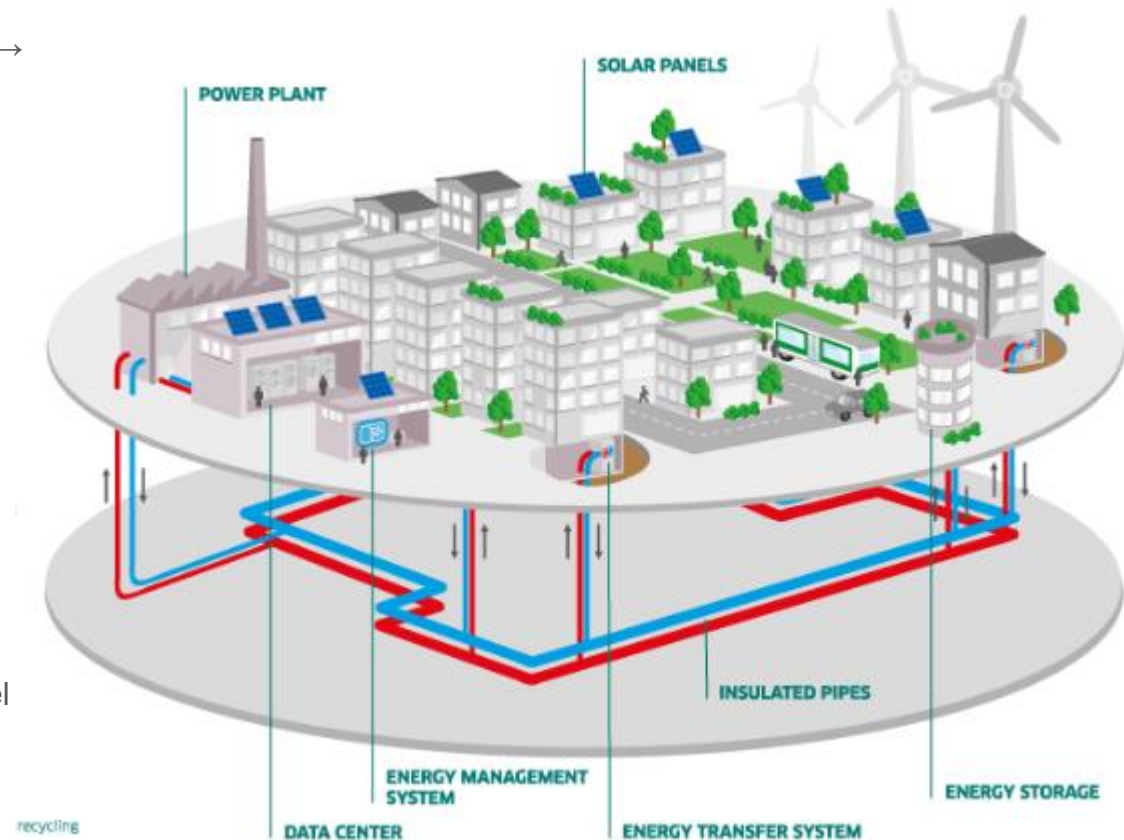
- Distribución de los costes de capital entre un gran número de consumidores → menor coste unitario
- Estandarización de los equipos (enfriadoras, bombas, tuberías) → reducción del tiempo y el coste de construcción

Diseño modular

- Implementación por fases → menor inversión inicial
- Ampliar el sistema en función de la demanda → uso eficiente del capital

Mantenimiento centralizado

- Simplifica el servicio técnico → reduce los costes de mantenimiento
- Uso **del mantenimiento predictivo** y el análisis de datos → minimización del tiempo de inactividad y de los costes de reparación



4.5. OPTIMIZACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE REFRIGERACIÓN URBANA

Optimización económica para la reducción de los costes de inversión

Eficiencia energética

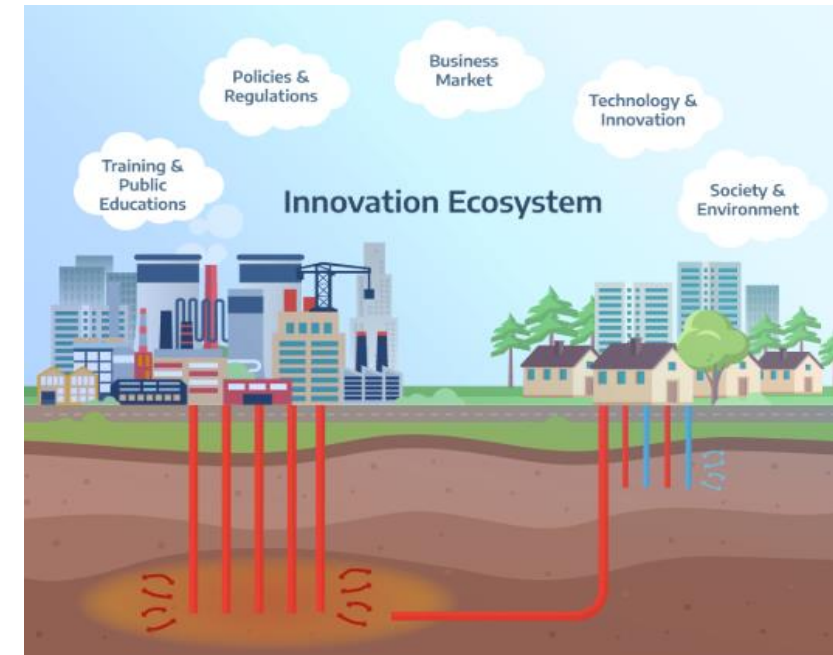
- Utilizar **Enfriadoras de alta eficiencia, variadores de velocidad y controles avanzados**
- **El almacenamiento de energía térmica** permite la refrigeración fuera de las horas punta → reduce los costes eléctricos en horas punta

Aprovechamiento del calor residual

- Recuperar el calor residual de **la industria y las centrales eléctricas**
- Utilice sistemas de sorción e inyección de refrigeración por evaporación para la red de refrigeración distribuida (DCN)

Integración de energías renovables

- Incorporar **energía solar térmica, geotérmica y electricidad con bajas emisiones de carbono**
- La refrigeración solar puede reducir los costes, especialmente en zonas soleadas (tecnología aún en desarrollo)
- Reduce la dependencia de los combustibles fósiles y estabiliza los precios de la energía



4.5. OPTIMIZACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE REFRIGERACIÓN URBANA

Optimización medioambiental

Refrigerantes con bajo potencial de calentamiento global (GWP)

- Utilizar refrigerantes **naturales** o **sintéticos con bajo potencial de calentamiento global (GWP)**
- **Detección** avanzada **de fugas** y **mantenimiento** para minimizar las emisiones

Suministro de energía descarbonizada

- Conexión a **redes alimentadas con energías renovables** (eólica, solar, hidroeléctrica)
- Integrar **energías renovables in situ** (por ejemplo, energía solar fotovoltaica para sistemas auxiliares)

Gestión eficiente del agua

- Implantación de **sistemas de refrigeración de circuito cerrado**
- Utilizar **fuentes de agua no potable**, como las aguas residuales tratadas

4.5. OPTIMIZACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE REFRIGERACIÓN URBANA

Diseño de sistemas e integración tecnológica

Redes inteligentes e integración del IoT

- Monitorización en tiempo real con **sensores del IoT**

Equilibrio dinámico de la carga y análisis predictivo

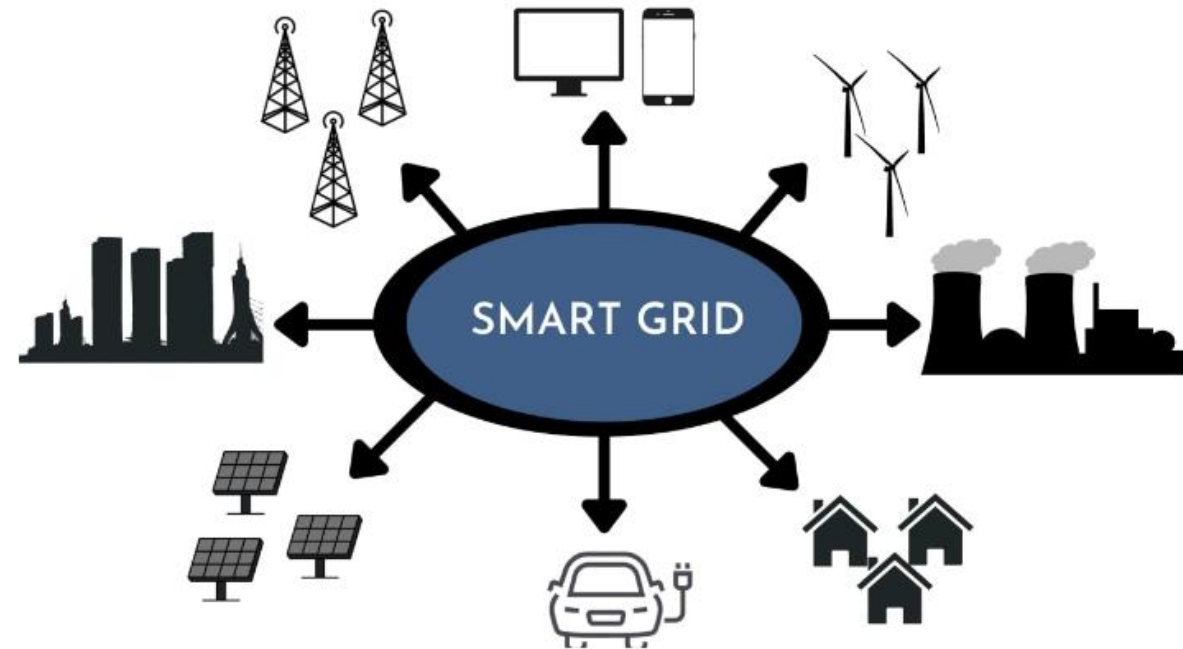
- Control inteligente basado en **la demanda, las condiciones meteorológicas y los precios**

Respuesta a la demanda

- Desplazamiento de la refrigeración a **horas de menor consumo**
- Reduce los costes energéticos y favorece **la integración de las energías renovables**
- Alivia la carga sobre la red eléctrica

Sistemas de respaldo y resiliencia

- **Redundancia** con Enfriadoras de reserva o almacenamiento térmico
- Mantiene el servicio durante averías o picos de carga
- Evita los costes de emergencia y garantiza la fiabilidad



4.6. CONCLUSIONES

- Para determinar la idoneidad de la red de refrigeración urbana, es necesario realizar un estudio minucioso de la demanda por densidad. Este estudio debe tener en cuenta los edificios, los consumidores industriales y los centros de datos.
- El estudio de la demanda por densidad implica disciplinas adicionales a los proyectos convencionales de climatización y refrigeración, como los SIG.
- Si se justifica cuidadosamente y se minimizan los riesgos, una red de refrigeración urbana que atienda adecuadamente a la demanda de densidad será mejor que los sistemas de refrigeración convencionales. Los plazos de amortización podrían resultar atractivos.
- A diferencia de los sistemas de refrigeración tradicionales, los gobiernos deben participar en el desarrollo y el marco de idoneidad de las redes de refrigeración urbana y promoverlas desde múltiples perspectivas.
- Además de las ventajas tradicionales de ser una tecnología más eficiente desde el punto de vista energético, las redes de refrigeración urbana pueden ayudar a mitigar el efecto isla de calor urbano, reducir los residuos y facilitar la integración con tecnologías sostenibles.
- Las redes de refrigeración urbana requieren una optimización de los controles más compleja para que resulten rentables y eficientes desde el punto de vista energético, y los últimos avances en el Internet de las cosas (IoT) y las comunicaciones contribuyen a ello.

5. PROYECTOS REALIZADOS Y CASOS PRÁCTICOS



5.1. BARRIO LA PINADA

Descripción general

Barrio La Pinada es una urbanización privada situada en Paterna, cerca de la ciudad de Valencia, que se prevé que ocupe una superficie de **320 000** .

El Barrio La Pinada es una nueva urbanización cuya construcción aún no ha comenzado. Esto brinda la oportunidad de crear la red desde cero, lo que se ajusta a las características de un caso práctico de red nueva.

La demanda total que hay que satisfacer es de 9,4 GWh (7,52 residencial y 1,88 comercial).

	Suministro
Tecnología	Geotérmica/Aerotérmica
Combustible utilizado	Electricidad
Capacidad máxima	5 MW
Costes fijos	200 000 €
Costes de capacidad	500 €/kW
Costes anuales de operación y mantenimiento	30 €/kW
Costes de suministro	1,4 c€/kWh

5.1. BARRIO LA PINADA

Topología de la red

Barrio La Pinada tiene previsto conectar todas las demandas del barrio a la red de calefacción y **refrigeración** urbana, por lo que casi todos los edificios se han configurado según lo requerido.

Los únicos que quedaron fuera del estudio de caso fueron dos situados en el extremo más meridional de la urbanización, que corresponden a un colegio. Esta decisión se debe a que dichos edificios ya se han construido y, por lo tanto, no formarán parte del futuro desarrollo. Se conectaron 73 edificios, lo que cubre el 100 % de la demanda propuesta y solo deja fuera al colegio.

La optimización determina que solo se necesitarían 3,3 MW de la capacidad disponible (5 MW) para cubrir la demanda del proyecto. La inversión de capital asociada, de 2,14 millones de euros, está en línea con otros proyectos de energía geotérmica.



5.1. BARRIO LA PINADA

Solución de red

Solución de tuberías	
Longitud	6,76 km
Coste total	1,35 M€
Coste lineal	200 €/m
Pérdidas	1,85 GWh/año
Capacidad	3,88 MW

Solución de tuberías	
Capacidad total necesaria	3,88 MWp
Producción	11,05 GWh/año
Coste de inversión	2,14 M€
Coste de explotación: O&M	0,12 M€/año
Coste de explotación: producción de calor	0,15 M€/año

Solución de demanda	
Demanda máxima total	6,16 MW
Demanda	9,2 GWh/año
Ingresos	0,405 M€/año

5.1. BARRIO LA PINADA

Análisis

	Coste de inversión	Costes de explotación	Ingresos de explotación	VALOR ACTUAL NETO
Tuberías	-1,35 M€	-	-	-1,35 M€
Suministro de calefacción	-2,14 M€	-0,27 M€/año	-	-9,35 M€
Demandas	-	-	0,41 millones de euros al año	-10,74 M€
Emisiones	No se incluyen en esta fase			
Red	-3,49 millones de euros	-0,27 millones de euros al año	0,41 M€/año	0,06 M€

5.2. DHC BARCELONA (ESPAÑA)

Datos clave y ubicación

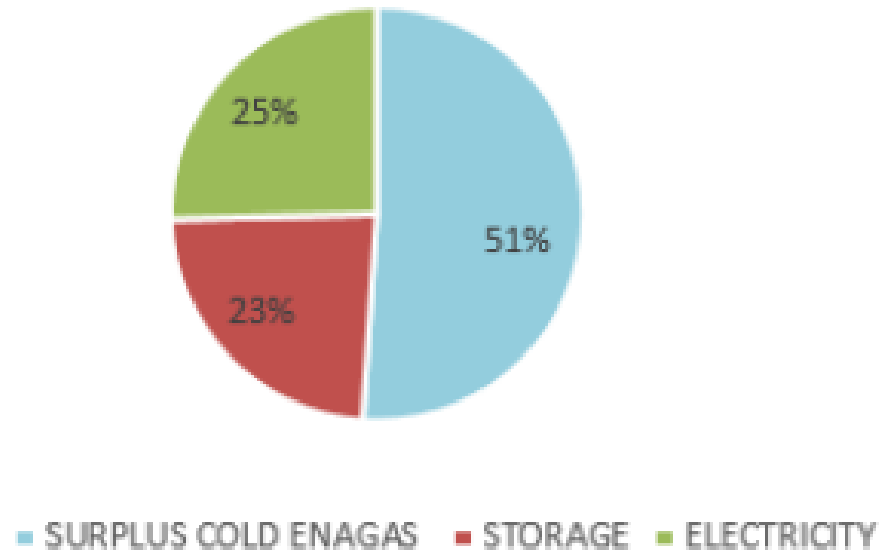
Cuota de mercado de DH	N.d.
Capacidad de calefacción y refrigeración	Calefacción y refrigeración: 23 MW (objetivo: 40 MW) DC: 14 MW (objetivo: 70 MW + 36 MW de almacenamiento en hielo)
Producción de calor y frío	Calefacción urbana: 12 GWh/año (objetivo: 59 GWh/año) CC: 7,6 GWh/año (objetivo: 54 GWh)
Km de red (doble tubería)	12 km (objetivo: 36 km)
de emisiones	Telecalor: 94,9 kg/MWh Calefacción central: 0 kg/MWh (emisiones netas, compensadas con la producción de electricidad mediante cogeneración)



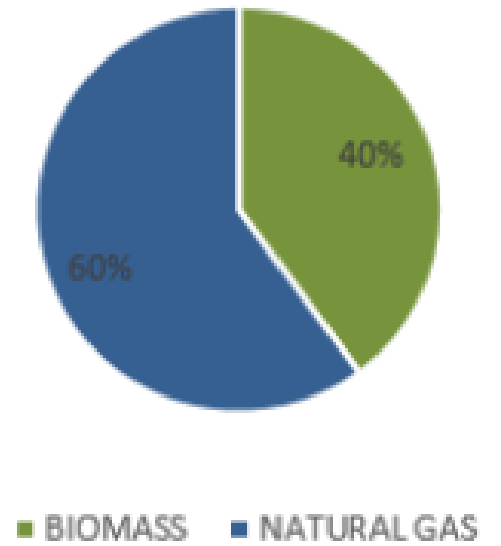
5.2. DHC BARCELONA (ESPAÑA)

Los proyectos de la Red de Calor y Frío (DHCN) tratan de potenciar los recursos disponibles para el suministro de energía; de este modo, se reduce la combinación energética y, por lo tanto, las emisiones. No obstante, sigue existiendo una dependencia de las tecnologías basadas en combustibles fósiles; el objetivo a largo plazo es reducir o eliminar esta dependencia aumentando la proporción de energías renovables.

DC Production mix (2030)



DH Production mix (2030)



Fuentes de combustible utilizadas para la calefacción y la refrigeración urbanas en Ecoenergías Barcelona 2014

5.2. DHC BARCELONA (ESPAÑA)

Oferta y demanda de energía – Barcelona (Resumen)

Clima y demanda

- Clima subtropical-mediterráneo; ~1150 HDD (inviernos suaves).
- Baja demanda de calefacción, alta y creciente demanda de refrigeración.

Combinación energética actual

- Calefacción: principalmente gas natural (sistemas individuales).
- Refrigeración: en su mayor parte basada en la electricidad.
- Ordenanza sobre energía solar térmica (1999): agua caliente sanitaria solar obligatoria en edificios nuevos o rehabilitados.

Consumo energético

- Edificios existentes: ~80 kWh/m²·año
- Edificios nuevos: ~45 kWh/m²·año

Estructura del mercado

- Mercado energético liberalizado (los consumidores eligen a los proveedores).
- Entre 5 y 6 proveedores cubren aproximadamente el 90 % del suministro total → concentración moderada.

Calefacción y refrigeración urbanas (DHC)

- Regulado por el Ayuntamiento de Barcelona a través de TERSA (empresa pública).
- Los precios deben seguir siendo competitivos con respecto a la energía convencional.

Tarifas

- Calefacción urbana: 42 €/MWh, aproximadamente un 10 % más barato que el gas natural.
- Refrigeración urbana: 38 €/MWh, entre un 5 % y un 12 % más barato que la electricidad.
- Clientes industriales: precios a medida (modelo B2B).

Caso práctico: Mercabarna (Ecoenergies)

- Sustitución de 32 GWh/año de electricidad por refrigeración urbana.
- Ahorro:
 - Reducción del 20 % en los costes de electricidad.
 - 8.730 tCO₂ de emisiones evitadas al año.

5.3. RECUPERACIÓN DE ENERGÍA FRÍA MEDIANTE LA VAPORIZACIÓN DE GAS NATURAL LICUADO (DCN)

Antecedentes

- Los edificios consumen aproximadamente el 40 % de la energía mundial; la demanda de refrigeración va en aumento.
- Demanda mundial de refrigeración residencial: 300 TWh (2000) → 4 000 TWh (2050) → 10 000 TWh (2100).
- La demanda de refrigeración es más difícil de predecir que la de calefacción, ya que se ve afectada por la radiación solar, las ganancias internas y las islas de calor urbanas.

Sistemas de refrigeración urbana (DCS)

- Solución de refrigeración centralizada para varios edificios.
- Componentes: unidad de generación, red de distribución, clientes, sistema de disipación de calor.
- Reconocida como la mejor tecnología disponible (MTD) en la UE.

Energía frigorífica residual del GNL

- La regasificación del GNL libera una cantidad significativa de energía frigorífica (aproximadamente 1 245 MWh/año en Italia procedentes de estaciones de GNC-L).
- Potencial para la refrigeración gratuita, lo que reduce la demanda de electricidad en la climatización.
- No hay estudios previos sobre el acoplamiento de sistemas de refrigeración directa (DCS) con la recuperación de energía frigorífica de L-GNC.

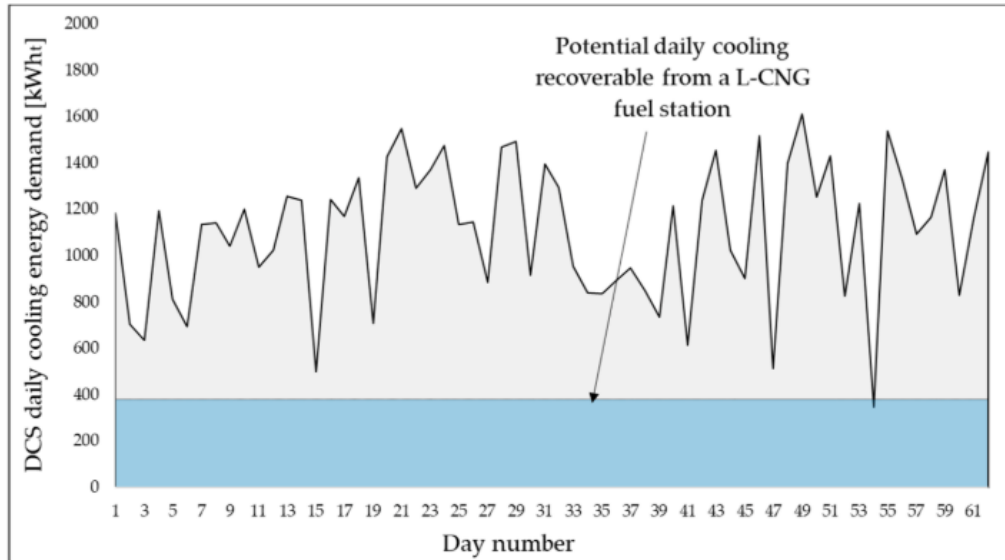
Mugnini, A., Coccia, G., Polonara, F. y Arteconi, A. (2019). Potencial de los sistemas de refrigeración urbana: un estudio de caso sobre la recuperación de energía frigorífica procedente de la vaporización del gas natural licuado. *Energies*, 12(15), 3027. <https://doi.org/10.3390/en12153027>

5.3. RECUPERACIÓN DE ENERGÍA FRÍA MEDIANTE LA VAPORIZACIÓN DE GAS NATURAL LICUADO EN LA RED DCN

Estudio de caso

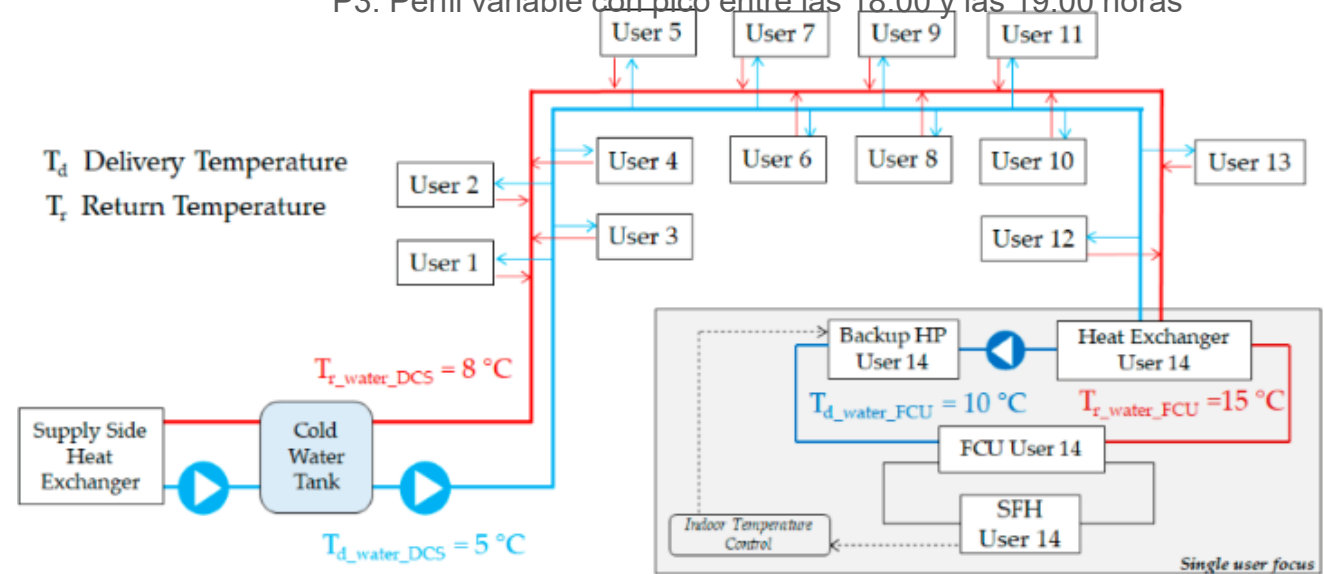
Potencial de energía frigorífica

- Consumo anual de GNL en estaciones de L-GNC: 5400 t/año
- Energía frigorífica desperdiciada durante la regasificación: 830 kJ/kg de GNL
- Energía frigorífica recuperable:
 - ~380 kWh/día (si se opera 365 días al año)
 - ~550 kWh/día (si se excluyen los fines de semana, 253 días al año)



Perfiles de potencia de refrigeración

- P1: Suministro constante (10 h/día, 365 días al año)
- P2: Suministro constante (excluyendo fines de semana y pausas para comer)
- P3: Perfil variable con pico entre las 18:00 y las 19:00 horas



Mugnini, A., Coccia, G., Polonara, F. y Arteconi, A. (2019). Potencial de los sistemas de refrigeración urbana: un estudio de caso sobre la recuperación de energía frigorífica a partir de la vaporización del gas natural licuado. *Energies*, 12(15), 3027. <https://doi.org/10.3390/en12153027>

5.3. RECUPERACIÓN DE ENERGÍA FRÍA MEDIANTE LA VAPORIZACIÓN DE GAS NATURAL LICUADO EN LA RED DCN

Resultados de la simulación

Caso de referencia

- Sistemas de refrigeración independientes: unidades de ventiloconvector alimentadas por una bomba de calor
- Demanda de refrigeración (julio-agosto): 47 MWht
- Consumo eléctrico: 17 MWhe

Análisis de la potencia de refrigeración libre

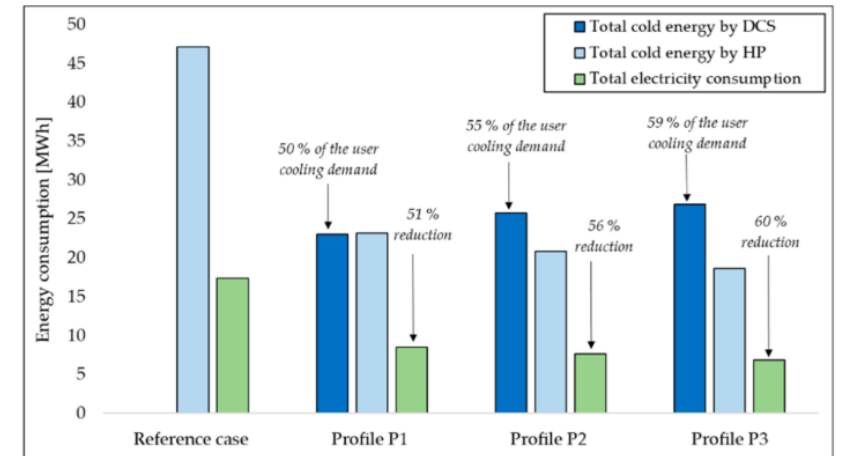
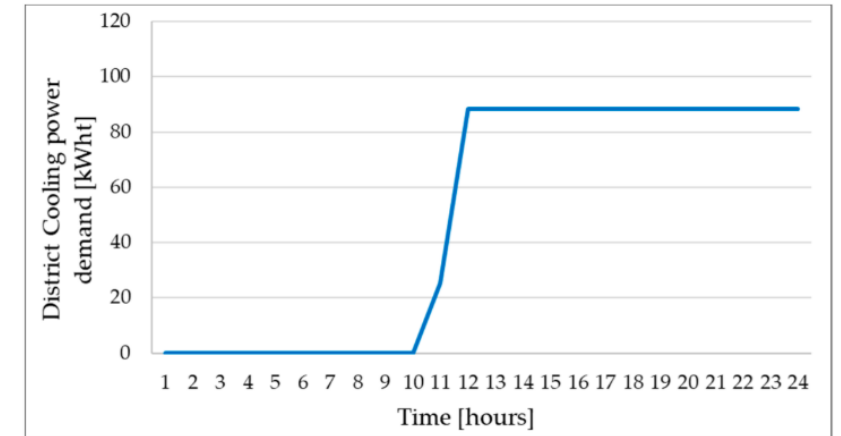
- DCS conectado directamente al intercambiador de calor (sin TES):
- P1 (suministro constante): se cubre el 50 % de la demanda de refrigeración, ahorro de electricidad del 52 %
- P2 (ajuste entre semana): ahorro de electricidad del 58 %
- P3 (suministro variable): Menor eficiencia debido al desajuste entre la demanda y el suministro

Impacto del almacenamiento de energía térmica (TES)

- Introducción de un depósito de 60 m³:
- Caso P3: se cubre el 59 % de la demanda de refrigeración, ahorro de electricidad del 60 %
- Casos P1 y P2: impacto mínimo debido al suministro regular
- Permite un mejor equilibrio entre la demanda y la oferta

Consideraciones sobre el dimensionamiento del TES

- Rango óptimo: 30–90 m³
- Depósitos más pequeños: inercia térmica insuficiente
- Depósitos más grandes: mayores pérdidas de calor y respuesta más lenta del sistema



5.3. RECUPERACIÓN DE ENERGÍA FRÍA MEDIANTE LA VAPORIZACIÓN DE GAS NATURAL LICUADO EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS (DCN)

Conclusiones

- **Ventajas del sistema DCS:**
 - Suministro de energía frigorífica a bajo coste con emisiones reducidas de CO₂
 - Integración con energías renovables, trigeneración y almacenamiento térmico
 - Recuperación eficiente de la energía frigorífica residual (p. ej., estaciones de repostaje de GNC líquido)
- **Caso práctico:**
 - Sistema: estación de repostaje de GNC-L que suministra refrigeración a un barrio residencial
 - Mejor rendimiento: ahorro del 60 % en el consumo eléctrico (perfil P3 + 60 m³ de almacenamiento térmico)
 - Ahorro general: reducción de más del 50 % en el consumo eléctrico en todos los escenarios
- **Consideraciones y trabajo futuro:**
 - Los resultados dependen de las hipótesis sobre la disponibilidad de energía del vaporizador de GNL
 - Se necesitan más estudios sobre el dimensionamiento del DCS y la optimización de las conexiones de los usuarios
- **Conclusiones principales:**
 - La vaporización de GNL puede abastecer eficazmente a los sistemas de refrigeración distribuida (DCS) residenciales
 - La integración del transporte y la refrigeración residencial mejora la sostenibilidad urbana

5.4. CONCLUSIONES

Factores clave de éxito (externos)	Descripción
Un marco normativo y regulatorio nacional adecuado	La política energética nacional y el marco normativo proporcionan una base y unos incentivos adecuados para el desarrollo de los sistemas de calefacción y refrigeración centralizados
Apoyo financiero directo/indirecto	Los proyectos de DHC se benefician de las subvenciones directas e indirectas existentes
Políticas locales específicas y coherencia con la planificación urbana	Las autoridades locales promueven la calefacción y el agua caliente combinadas (DHC) como parte de su estrategia de suministro energético y climática, e integran la planificación de la calefacción en sus proyectos de desarrollo urbano
Alineación de intereses / Madurez de la cooperación	Las autoridades públicas a nivel nacional y local, los organismos reguladores, los usuarios finales, la empresa de DHC y otros actores locales cooperan de manera eficiente para lograr un servicio de buena calidad y un suministro de calefacción y refrigeración sostenible y rentable



¡Gracias!

Módulo 4: Refrigeración urbana
SHaKE – Intercambio de calor y conocimientos sobre
comunidades energéticas

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

Desarrollado por la UJI
Dr. Adrián Mota-Babiloni | mota@uji.es
Ghad Alarnaot-Alarnaout | alarnaot@uji.es



Co-funded by
the European Union

