

# ESTADO DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS APLICADAS A LAS ENFRIADORAS

## 42ª Nota informativa sobre las tecnologías del frío del Instituto Internacional del Frío

*Hay una necesidad urgente de reducir el consumo de energía relacionado con la refrigeración de espacios mediante la mejora de la eficiencia energética de los sistemas y la adopción de refrigerantes de bajo GWP*

Esta nota informativa ha sido elaborada por Baolong Wang y Xianting Li (secretario y presidente, respectivamente, de la comisión E1 del IIR). Ha sido revisada por Eckhard Groll (Presidente de la Sección B), Renato Lazzarin (Presidente de la Sección E) y Alberto Coronas (Presidente de la Comisión E2) bajo la supervisión de Jean-Luc Dupont (Jefe del Departamento de Información Científica y Técnica). Ha sido corregido por Nathalie de Grissac y diseñado por Aurélie Durand (jefa de la oficina IIR)

Se espera que el uso mundial de energía para la refrigeración de espacios casi se triplique para el año 2050. Por lo tanto, es fundamental reducir el consumo de energía para la refrigeración de espacios con el fin de reducir sus efectos sobre el clima.

En el caso de los edificios públicos, el ahorro de energía en la refrigeración de espacios depende del diseño, la instalación, el funcionamiento y el mantenimiento adecuados del sistema central de aire acondicionado. Dentro del sistema, el diseño de enfriadoras energéticamente eficientes desempeña el papel más importante.

Esta nota informativa del **IIR** presenta el principio de la enfriadora, así como el estado de la técnica de las tecnologías de enfriadoras en cuanto a refrigerantes, evaporadores, compresores y sistemas. Su objetivo es aumentar la conciencia de que la enfriadora de alta eficiencia energética es un equipo fundamental para reducir el consumo de energía durante la refrigeración de espacios en los edificios públicos y propone para ello una serie de recomendaciones.

### INTRODUCCIÓN

Con el desarrollo económico, el crecimiento de la población, el aumento del nivel de vida y el calentamiento global, la refrigeración de espacios es más necesaria que nunca. El consumo de energía para la refrigeración de espacios está aumentando rápidamente. Según las previsiones de la AIE [1], se prevé que el número de aparatos de aire acondicionado en uso alcance los 4.500 millones en 2050, frente a los 1.200 millones de 2016. Al mismo tiempo, se espera que el consumo mundial de energía para la refrigeración de espacios, que fue de 2.020 teravatios hora (TWh) en 2016,

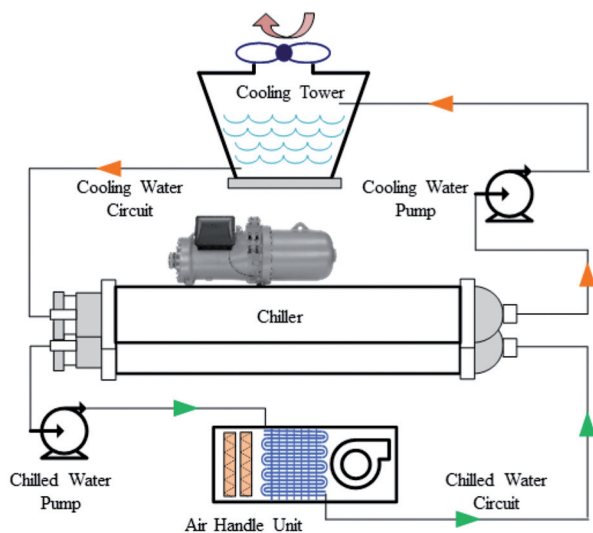
auge a 6.200 TWh en 2050, lo que supone un aumento asombroso del triple. En ese momento, la refrigeración de espacios representará el 30% del consumo total de energía de los edificios. Por lo tanto, es esencial reducir el consumo de energía relacionado con la refrigeración de espacios para disminuir su impacto negativo en el clima y lograr el objetivo del Acuerdo de París de contener el calentamiento global muy por debajo de los 2 °C.

Se desarrollan e implementan diferentes equipos para refrigerar los distintos espacios de un edificio. Para los edificios pequeños, como los residenciales, siempre se adoptan los sistemas de expansión directa de refrigerante, incluidos los acondicionadores de aire de habitación, los acondicionadores de aire en paquete y los sistemas de flujo de refrigerante variable (VRF) multiconectados. Por el contrario, para los edificios públicos con grandes espacios, como los comerciales, institucionales, industriales y hospitalarios, es más adecuado un sistema de aire acondicionado central. En el caso de los edificios residenciales, el consumo de energía y el efecto sobre el clima cuando se enfrían los espacios puede reducirse en gran medida mediante el desarrollo de sistemas de aire acondicionado de alta eficiencia energética [2]. En el caso de los edificios públicos, el ahorro de energía durante la refrigeración de espacios depende del perfecto diseño, instalación, funcionamiento y mantenimiento del sistema central de aire acondicionado. Entre ellos, el diseño de enfriadores energéticamente eficientes desempeña el papel más importante.

Cabe mencionar que los enfriadores también se utilizan ampliamente para la refrigeración de procesos en instalaciones y procesos comerciales e industriales, como la fabricación electrónica, el mecanizado de precisión, la fabricación farmacéutica, etc.

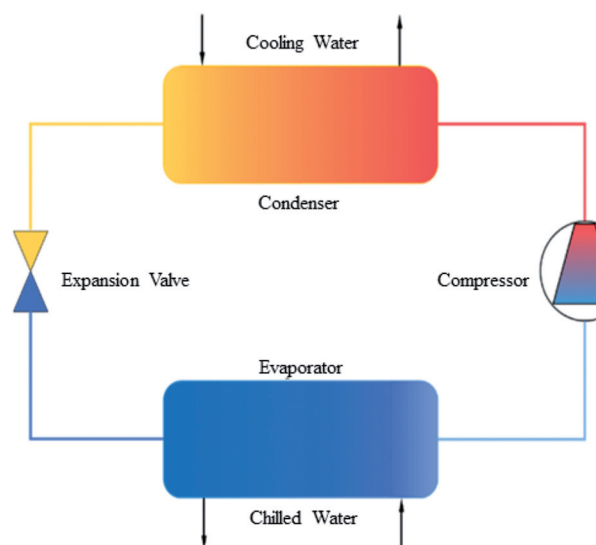
## Principio de funcionamiento

La *Figura 1* muestra un diagrama esquemático del sistema central de aire acondicionado. En lugar de enfriar directamente el aire interior gracias al refrigerante del sistema de expansión directa, el aire del sistema central de aire acondicionado se enfría y deshumidifica mediante el agua refrigerada. El agua refrigerada es producida por enfriadores y distribuida por bombas, lo que permite al sistema de aire acondicionado central cubrir fácilmente múltiples espacios. Por lo general, en los edificios comerciales, el consumo de energía de la enfriadora es aproximadamente el 40% del consumo total de energía del sistema central de aire acondicionado [3]. Por lo tanto, reducir el consumo de energía de las enfriadoras es la principal forma de ahorrar energía en los sistemas centrales de aire acondicionado. Dependiendo de la fuente de refrigeración, la enfriadora puede clasificarse como enfriadora de agua o enfriadora de aire.



**Figura 1:** Esquema del sistema central de aire acondicionado

Los refrigeradores del mercado suelen basarse en los ciclos de refrigeración por compresión de vapor, absorción o adsorción. Entre ellos, el sistema de compresión de vapor domina el mercado, ya sea por la capacidad total de refrigeración o por el número total. Una enfriadora por compresión de vapor suele estar compuesta por un compresor, un condensador, una válvula de expansión y un evaporador. Como se muestra en la *Figura 2*, el vapor refrigerante de baja temperatura aspirado por el compresor se comprime en un vapor de alta temperatura y se envía al condensador. El vapor de alta temperatura se enfría hasta convertirse en líquido en el condensador y el calor de condensación es rechazado al ambiente por el agua de refrigeración o el aire ambiente. A continuación, el refrigerante líquido se acelera en dos fases y se introduce en el evaporador. En el evaporador, el refrigerante se vaporiza después de haber absorbido el calor del agua refrigerada y haberla enfriado. Finalmente, el refrigerante en forma de vapor se devuelve al compresor y comienza el siguiente ciclo.



**Figura 2:** Principio del enfriador por compresión de vapor

## Modernas tecnologías

Las tecnologías aplicadas a los enfriadores se han promovido para cumplir los mayores requisitos de eficiencia energética y rendimiento medioambiental. Se han realizado muchos esfuerzos en nuevos componentes, como el refrigerante, el evaporador y el compresor, así como en el desarrollo de sistemas más eficientes para aplicaciones específicas.

## COMPONENTES

### Refrigerante alternativo

La *Tabla 1* enumera los principales refrigerantes utilizados actualmente por los diferentes tipos de enfriadores, a partir de los datos proporcionados por el PNUMA [4]. Entre ellos, el HCFC123 se utiliza ampliamente en las enfriadoras con compresores centrífugos debido a su buena eficiencia energética y su baja capacidad volumétrica. El HFC134a es el principal refrigerante para las enfriadoras de media y gran capacidad con compresores de desplazamiento positivo, como los compresores scroll y de tornillo. El R410A y el HCFC22 se adoptan a menudo en enfriadoras de pequeña y mediana capacidad. En general, los HCFC y los HFC siguen siendo los principales refrigerantes utilizados en las enfriadoras existentes, lo que puede atribuirse a la longevidad de las enfriadoras y al hecho de que los HCFC y los HFC todavía se están eliminando o reduciendo progresivamente.

Dado que 197 partes del Protocolo de Montreal aceptaron la enmienda para la reducción progresiva de los HFC en Kigali en 2016, se ha establecido el plan básico de reducción progresiva de los refrigerantes HFC de alto PCA. El desarrollo de sustitutos adecuados para los actuales refrigerantes de uso generalizado se ha convertido en una de las cuestiones más urgentes en las tecnologías de refrigeración.

**Tabla 1:** Principales refrigerantes utilizados actualmente por los distintos tipos de enfriadores [4]

| Tipo de enfriador  | Capacidad rango (kW) | Principales refrigerantes Utilizados actualmente       |
|--|----------------------|--|
| Scroll, rotativo y alternativo refrigerado por agua              | 10-1,200             | R410A<br>HCFC22<br>R407C<br>HC290(LL) R717(LC)<br>R744 |
| Tornillo refrigerado por agua                                    | 100-3.800            | HFC134a<br>HCFC22<br>R717(LC)                          |
| De tornillo, scroll, rotativo y alternativo refrigerado por aire | 10-1,900             | HFC134a<br>R410a<br>HCFC22<br>R470C<br>HC290(LC)       |
| Centrífuga o axialturbo refrigerado por agua                     | 200-21,000           | HFC134a<br>HCFC123<br>HFC245fa(LC)<br>R718(LC)         |
| Refrigerado por aire centrífugo                                  | 200-1,600            | HFC-134a   |

LC: Less common

Los esfuerzos por buscar nuevos refrigerantes de bajo GWP comenzaron hace muchos años. Pero un examen a gran escala de la base de datos químicos [5] reveló que pocos refrigerantes existentes pueden satisfacer todos los requisitos de seguridad, termodinámicos y de rendimiento medioambiental de los futuros refrigerantes. Los refrigerantes naturales, los hidrocarburos, los HFO (hidrofluoroolefinas) y sus mezclas reciben más atención en esta situación.

Los refrigerantes naturales, como el R717, el R744 y el R718, y los hidrocarburos se están reconsiderando como posibles refrigerantes alternativos de las enfriadoras debido a su gran rendimiento medioambiental. Los productos que utilizan refrigerantes no fluorados con un GWP cercano a cero han cobrado impulso en el mercado, sobre todo en Europa.

El R717 (amoníaco) tiene un gran rendimiento termodinámico e hidrodinámico. Se utiliza desde hace décadas en los refrigeradores industriales. Los principales inconvenientes del R717 son su toxicidad, inflamabilidad y corrosividad con el cobre. En el caso de las aplicaciones industriales, los riesgos causados por estas imperfecciones pueden controlarse eficazmente mediante la selección adecuada de la ubicación de la sala de máquinas, el ajuste del sensor de amoníaco y el sistema de pulverización de agua, el uso de compresores de tipo abierto, etc. Recientemente, el R717 también se ha con-

siderado como refrigerante para las enfriadoras utilizadas en los sistemas de aire acondicionado de confort [6]. Por lo tanto, los riesgos mencionados del R717 deben gestionarse con más cuidado y deben respetarse los códigos de construcción esenciales.

El R744 (dióxido de carbono) es bien conocido como un refrigerante energéticamente eficiente en los calentadores de agua con bomba de calor. Pero en climas en los que la necesidad de refrigeración predominante es a una temperatura ambiente baja, como 15°C o menos, los sistemas de R744 pueden ser equivalentes en eficiencia energética y LCCP con los sistemas que emplean refrigerantes fluorados. Por eso se han introducido en el mercado del norte de Europa enfriadoras refrigeradas por aire con R744.

El R718 (agua) puede utilizarse en los enfriadores para enfriar el agua o para producir hielo en suspensión por evaporación directa a partir de un suministro de agua, con un sobrecoste. Sin embargo, las presiones de succión muy bajas, las altas relaciones de compresión y las bajas densidades de succión requieren diseños de compresores axiales de alto flujo volumétrico, que son poco comunes en los enfriadores. No obstante, se han demostrado varios enfriadores y fabricantes de hielo al vacío comerciales en Europa, Oriente Medio y Sudáfrica [7].

Los refrigerantes de hidrocarburos que se utilizan habitualmente en las enfriadoras son el HC290 y el HC1270. El HC290 y el HC1270 tienen un rendimiento termodinámico atractivo, similar al del HCFC22. El mayor reto en el uso de hidrocarburos es su alta inflamabilidad, que limita en gran medida la carga máxima de refrigerante y la utilización en interiores. Los hidrocarburos se han utilizado con éxito en sistemas de refrigeración de pequeña capacidad, como frigoríficos y aparatos de aire acondicionado. Pero en el caso de los refrigeradores, sólo se ha instalado un número limitado de sistemas pequeños refrigerados por aire en Dinamarca, Noruega, Reino Unido, Alemania, Irlanda, Estados Unidos y Nueva Zelanda [8].

Los HFO son compuestos orgánicos insaturados formados por hidrógeno, flúor y carbono, con un potencial de agotamiento de la capa de ozono (ODP) de cero y un GWP muy bajo. Muchos refrigerantes HFO son intrínsecamente esta-

bles, no tóxicos y no inflamables o ligeramente inflamables, y algunos tienen los puntos de congelación y ebullición adecuados para ser utilizados para la refrigeración a temperaturas comunes. Entre los HFO puros, el HFO1234yf, el HFO1234ze(E), el HCFO1233zd(E) y el HCFO1224yd(Z) son ampliamente reconocidos en los refrigeradores para aire acondicionado. El HFO1234yf, con un GWP < 1, es similar al HFC134a en términos de rendimiento termodinámico y se ha considerado como una alternativa potencial al HFC134a. En general, la capacidad volumétrica del HFO1234yf es principalmente un 6~20% inferior a la del HFC134a, dependiendo de las condiciones de funcionamiento. Al mismo tiempo, el coeficiente de rendimiento (COP) del sistema de refrigeración con HFO1234yf es un 8~20% inferior al del sistema con HFC134a [9,10]. Sin embargo, el rendimiento del sistema que funciona con HFO1234yf puede mejorarse optimizando los componentes y el ciclo. El HFO1234ze(E) también se ha considerado una alternativa de bajo GWP al HFC134a. La capacidad volumétrica y el COP del HFO1234ze(E) suelen ser un 26% inferiores a los del sistema con HFC134a, mientras que el COP es prácticamente el mismo. El HCFO1233zd(E) se considera un buen sustituto del HCFC123, ya que tiene un ratio de eficiencia energética similar y una capacidad volumétrica 1,4 veces superior a la del HCFC123. Un posible sustituto del HFC245fa es el HCFO1224yd(Z). El HCFO1224yd(Z) tiene un COP cercano al del HCFC123. Sin embargo, la capacidad volumétrica de refrigeración es un 60% superior a la del HCFC123, lo que debe tenerse en cuenta a la hora de diseñar nuevos refrigeradores.

Como se ha mencionado anteriormente, los HFO puros no deben caer directamente en los refrigeradores debido a la diferencia en la capacidad volumétrica de refrigeración, la inflamabilidad, etc. Por ello, se proponen muchas mezclas con HFO. Entre ellas, se han desarrollado R444A, R445A, R450A, R513A, R515A para sustituir al R134a. El R514A es una de las alternativas zeotrópicas para el R123. Para sustituir al R410A, se desarrollan mezclas de R32/HFO, como el R446A, R447A, R452B, etc.

La *Tabla 2* ofrece un resumen de los refrigerantes alternativos emergentes en las enfriadoras [4].

Aunque los refrigerantes tradicionales siguen dominando en las enfriadoras existentes, los principales fabricantes de enfriadoras han evaluado estas alternativas y han lanzado nuevas enfriadoras cargadas con estos refrigerantes de bajo

**Tabla 2:** Refrigerantes alternativos de bajo GWP para enfriadoras [4]

| Alternativa de producto  | Refrigerantes  |
|--|--|
| Enfriadoras grandes con compresores centrífugos o compresores axiales-turbo que utilizan refrigerantes de baja presión | HCFO1233zd(E)<br>R514A<br>R718                             |
| Enfriadoras grandes con compresores con compresores centrífugos que utilizan refrigerantes de media presión            | R513A<br>HFO1234yf<br>HFO1234ze(e)<br>HCFO1224yd(Z)        |
| Enfriadoras de tamaño medio con desplazamiento positivo (de tornillo) compresores de tornillo                          | R513A<br>R450A<br>HFO1234yf<br>HFO1234ZE(E)<br>HC290, R717 |
| Enfriadoras pequeñas con desplazamiento desplazamiento positivo (scroll, rotativo o alternativo)                       | HFC32<br>R452B<br>R454B<br>R454B<br>R290<br>R744           |

GWP. Carrier anunció una enfriadora centrífuga que utiliza HCFO1233zd(E) en abril de 2016. Al mismo tiempo, el fabricante también ha desarrollado la enfriadora centrífuga 19XR, la enfriadora refrigerada por agua 23XRV, así como la enfriadora de tornillo refrigerada por aire 30XV/XA compatible con R513A. En 2017, Trane lanzó la enfriadora centrífuga con R513A y R514A, así como la enfriadora de tornillo con HFO1234ze(E). En 2019, YORK amplió la gama de enfriadoras de cojinete magnético con HCFO1233zd(E). Además, otros fabricantes líderes de enfriadoras también han lanzado sus propias enfriadoras nuevas con alternativas de bajo GWP [11]. Los principales refrigerantes HFO de bajo GWP bien comercializados se enumeran en la *Tabla 3*.

### Evaporador de película descendente

El evaporador es uno de los intercambiadores de calor más importantes en un sistema de refrigeración por compresión de vapor. Puede clasificarse como evaporador de expansión directa o evaporador de sobrealimentación. El suministro de refrigerante al evaporador de expansión directa es controlado por la válvula de expansión en función del grado de recalentamiento a la salida del evaporador. En este tipo de evaporador, el bajo coeficiente de transferencia de calor en la región sobrecalentada reduce en gran medida el rendimiento del evaporador y tiene un efecto más perjudicial en el coeficiente de rendimiento (COP) de la enfriadora. En el evaporador inundado, que es un tipo de evaporador sobrealimentado, los tubos de transferencia de calor están sumergidos en el refrigerante líquido. El refrigerante a la salida del evapo-

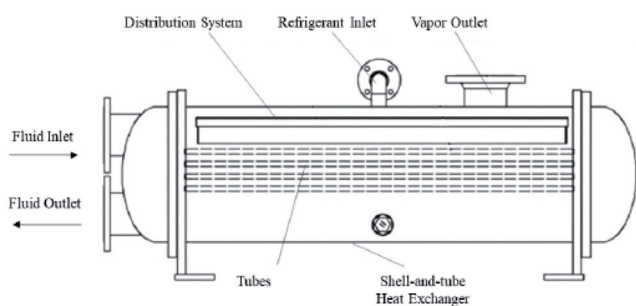
**Tabla 3:** Principales refrigerantes HFO de bajo GWP bien comercializados

| Alternativa   | Tipo de compresor       | GWP | Clase de seguridad | Capacidad relativa | Eficiencia relativa | Nota              |
|---------------|-------------------------|-----|--------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| HCFO1233zd(E) | Centrífuga              | 1   | A1                 | 140%               | 99%                 | Basado en HCFC123 |
| HCFO1224yd(E) |                         | 1   | A1                 | 160%               | 99%                 |                   |
| R514A         |                         | 2   | B1                 | 95%                | 100%                |                   |
| R1234ze(E)    | Centrífugos y tornillos | >1  | A2L                | 74%                | 100%                | Basado en HFC134a |
| R513A         |                         | 573 | A1                 | 101%               | 98%                 |                   |

rador está saturado o ligeramente sobrecalentado. Siempre se adopta un sensor de nivel de líquido en lugar de una válvula de expansión para controlar el flujo másico de refrigerante. Dado que la región sobrecalentada es bastante pequeña en el evaporador inundado, el rendimiento global del intercambio de calor del evaporador inundado es mejor que el del evaporador de expansión directa. Sin embargo, como la carcasa del evaporador inundado está completamente llena de refrigerante líquido, requiere una carga de refrigerante mucho mayor. Además, la acción global contra el cambio climático limita la cantidad total de refrigerante y aumenta su precio. Para reducir la carga de refrigerante, se propone otro tipo de evaporador sobrealimentado, el evaporador de película descendente.

El evaporador de película descendente es un típico evaporador sobrealimentado, como se muestra en la *Figura 3*. El refrigerante líquido, después de la estrangulación, se suministra al evaporador. El refrigerante líquido se acumula en el panel de distribución sobre el haz de tubos de intercambio de calor. El panel de distribución rocía uniformemente el refrigerante líquido sobre los tubos para mantener húmeda toda la superficie exterior del tubo. En el fondo de la carcasa se acumula poco o ningún refrigerante líquido.

En comparación con otros evaporadores, los evaporadores de película descendente tienen las ventajas de un mayor coeficiente global de transferencia de calor, menores costes y



**Figura 3:** Estructura del evaporador de película descendente

menor impacto ambiental. Como resultado, el evaporador de película descendente ha sido ampliamente adoptado en enfriadoras energéticamente eficientes por muchos fabricantes de enfriadoras, incluyendo Trane, YORK, Daikin, Midea, etc [12, 13, 14]. Por ejemplo, en 2013, el Grupo Midea introdujo una bomba de calor centrífuga de compresión de dos etapas con evaporador de película descendente [15], y la carga de refrigerante se redujo en más del 40%, el COP nominal alcanzó 7,11.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que el evaporador de película descendente no puede utilizarse en enfriadores que utilicen mezclas zeotrópicas. El desplazamiento de los componentes durante la evaporación degradará en gran medida el rendimiento de los enfriadores.

### Compresor sin aceite

En el compresor de refrigeración tradicional, el aceite lubricante es necesario e importante. Es responsable de la reducción de la fricción, el sellado y la disipación del calor. Pero para otros componentes de los sistemas de compresión de vapor, como los intercambiadores de calor, el aceite lubricante debilita la transferencia de calor, reduce el rendimiento del sistema y complica su configuración. Se están realizando continuos esfuerzos para desarrollar compresores sin aceite. En los últimos años se han realizado importantes avances.

Según la tecnología adoptada, el compresor sin aceite se divide en tres tipos: de cojinete magnético, de cojinete de gas y de cojinete cerámico. Aunque los dos últimos también se han desarrollado, tienen muchas menos aplicaciones que el compresor de cojinete magnético. En teoría, los cojinetes magnéticos pueden adoptarse en cualquier tipo de compresor para reducir la fricción de los cojinetes, aumentar la eficiencia mecánica y, quizás, ampliar el rango de velocidad de rotación. Sin embargo, en los compresores de desplazamiento positivo, la falta de lubricante provocará enormes dificultades para lubricar los puntos de contacto, disipar el calor y

sellar la cavidad de compresión. Por ello, el compresor centrífugo de cojinete magnético está experimentando un crecimiento exponencial en el mercado.

El compresor centrífugo de cojinete magnético utiliza la combinación de la fuerza magnética permanente y la fuerza electromagnética para suspender el eje del compresor. Utiliza un sensor de localización relativa de alta frecuencia y un control rápido de la corriente de los electroimanes para ajustar dinámicamente la posición del eje y evitar la colisión. Al utilizar el cojinete magnético, se elimina el complicado sistema de suministro, separación y retorno de aceite. También mejora la eficiencia energética del enfriador al eliminar la resistencia a la transferencia de calor del aceite y el ensuciamiento. El mecanismo sin aceite resuelve la dificultad inherente al equilibrio del aceite en los compresores en

paralelo y permite la máxima utilización del evaporador y el condensador en condiciones de carga parcial, mejorando significativamente el rendimiento en carga parcial de la enfriadora. Al mismo tiempo, al no haber fricción entre el eje y los cojinetes, la velocidad del compresor puede incrementarse considerablemente, lo que puede aumentar significativamente la capacidad y la eficiencia energética del compresor.

Desde que Danfoss Turbocor comercializó con éxito una pequeña enfriadora de cojinete magnético de accionamiento directo en la década de 2000, muchos de los principales fabricantes de enfriadoras han desarrollado sus propios compresores centrífugos de cojinete magnético y enfriadoras, como se muestra en la *Tabla 4*. Además, más de 20 fabricantes de enfriadoras han comercializado varios tipos de enfriadoras equipadas con compresores de cojinete magnético Danfoss [16]. El máximo IPLV (Integrated part load value - Valor integrado de carga parcial) de estas unidades puede alcanzar el 11,98. En comparación con las unidades centrales de aire acondicionado tradicionales, la enfriadora centrífuga de cojinetes magnéticos puede ahorrar un 50% de energía.

**Tabla 4:** Principales fabricantes de compresores centrífugos de cojinetes magnéticos y refrigeradores [4]

| Fabricante                          | Capacidad (TR*) | Refrigerante                     |
|-------------------------------------|-----------------|----------------------------------|
| Danfoss Turbocor (compresor)        | 60-400          | HFC134a<br>HFO1234ze(E)<br>R513A |
| Daikin (compresor + enfriador)      | 400-700         | HFC134a                          |
| Dunham Bush (compresor + enfriador) | 600             | HFC134a                          |
| Fusheng (compresor + enfriadora)    | 175-280         | HFO1234ze(E)                     |
| Gree (compresor + enfriador)        | 80-1.300        | HFC134a                          |
| Haier (enfriadora)                  | 100-4.500       | HFC134a                          |
| Hanbell (compresor + enfriador)     | 400-450         | HFC134a<br>HFO1234ze(E)          |
| LG (compresor + enfriador)          | 260-1.100       | HFC134a                          |
| MHI (compresor + enfriadora)        | 400-500         | HFC134a                          |
| Trane (compresor + enfriadora)      | 175-425         | HFC134a<br>R513A                 |
| YORK (compresor + enfriadora)       | 165-1.350       | HFC134a<br>HCFO1233zd(E)         |

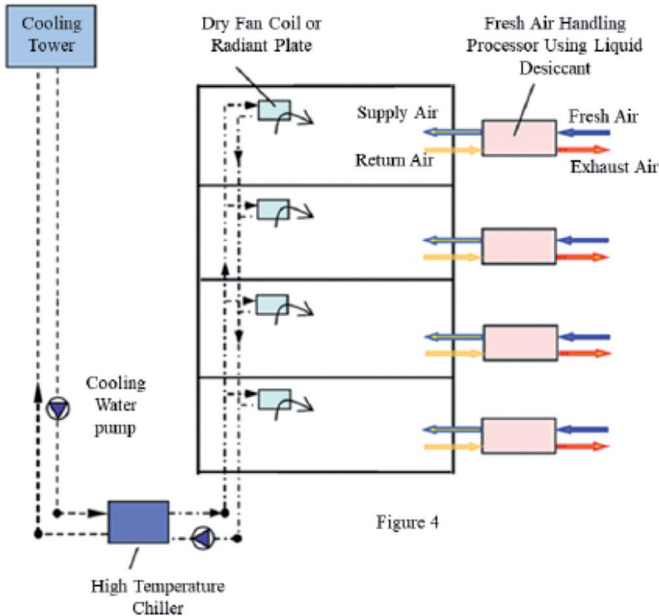
## ENFRIADOR DE ALTA TEMPERATURA

El sistema de aire acondicionado se encarga de enfriar y deshumidificar el aire. Para enfriar el aire, la temperatura del agua refrigerada sólo tiene que ser inferior a la temperatura de bulbo seco del aire. Pero para deshumidificar el aire, la temperatura del agua refrigerada debe ser inferior a la temperatura del punto de rocío del aire. Normalmente, la temperatura del punto de rocío del aire es mucho más baja que su temperatura de bulbo seco. Esta es la razón principal por la que se utiliza agua enfriada a 7°C para tratar el aire interior a 26°C, lo que limita en gran medida la eficiencia energética de la enfriadora.

Para superar el inconveniente de la refrigeración y deshumidificación simultáneas del aire, se ha propuesto la tecnología de control independiente de la temperatura y la humedad (THIC) [17], o el sistema de aire exterior dedicado (DoAS) [18]. En el sistema THIC/DoAS, el aire, incluido el aire fresco exterior, se divide en dos grupos. Un grupo se deshumidifica con agua fría a baja temperatura y desecante líquido o sólido, y el otro se enfría con agua fría a alta temperatura. De este modo, se puede mejorar la eficiencia energética del sistema de aire acondicionado. La eficiencia de la enfriadora que produce agua fría a alta temperatura es el factor dominante para la tasa de ahorro de energía, que ha sido el foco de investigación y desarrollo en los últimos años.

A diferencia de la enfriadora tradicional que produce agua fría a 7°C, la enfriadora de alta temperatura se utiliza para suministrar agua fría a unos 16~18°C, lo que puede mejorar el COP de la enfriadora en más de un 20% [19]. Una prueba de campo anual ha demostrado que el sistema de aire acondi-

dicionado THIC puede ahorrar un 34% del consumo energético anual en comparación con el sistema de aire acondicionado tradicional en el mismo edificio [20].



**Figura 4:** Un sistema independiente de control de la temperatura y la humedad

En la actualidad, varios de los principales fabricantes de enfriadores, como YORK, Gree, Haier, etc., pueden proporcionar enfriadores de alta temperatura. El refrigerador de alta temperatura tiene una amplia aplicación en grandes edificios de oficinas y edificios industriales. La temperatura del agua a la salida del refrigerador de alta temperatura está entre 12°C y 18°C [21], y el COP máximo del refrigerador de alta temperatura puede ser superior a 9,0. Por lo tanto, la enfriadora de alta temperatura puede ahorrar un 30% de energía en comparación con las enfriadoras centrífugas ordinarias refrigeradas por agua [22].

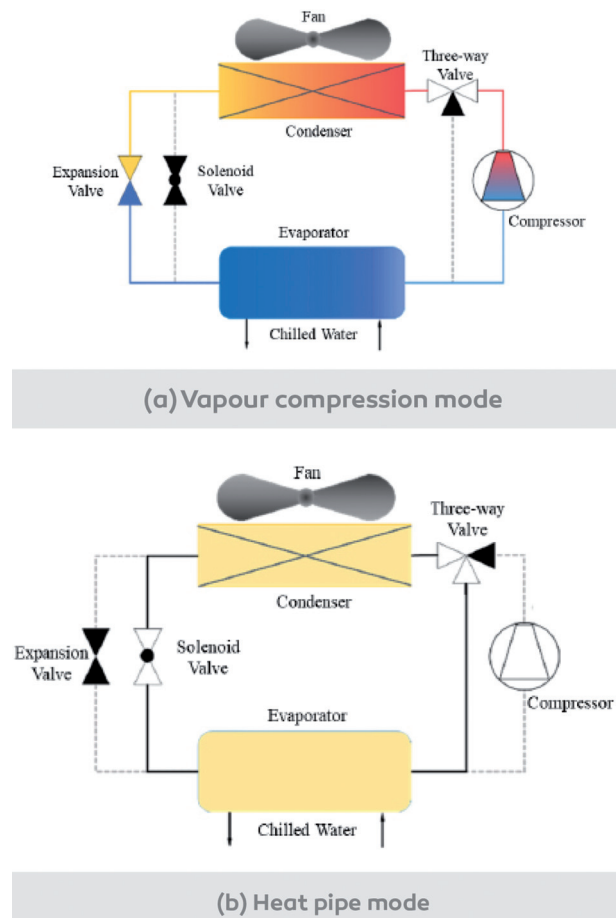
## ENFRIADOR QUE FUNCIONA TODO EL AÑO

Con el desarrollo de la economía social y la tecnología, los espacios con alta densidad de calor, como los centros de datos, están aumentando rápidamente. A diferencia de los edificios residenciales y públicos convencionales, estos espacios necesitan refrigeración durante todo el año, lo que se traduce en un enorme consumo de energía. En 2018, los centros de datos de Estados Unidos consumieron 89.400 millones de kWh de electricidad, lo que representa aproximadamente el 2,1% del consumo total de electricidad de Estados Unidos. Los centros de datos en China consumieron 63.000 millones de kWh de electricidad, aproximadamente el 0,9% del consumo total de electricidad de China [23]. En el centro de datos, el consumo de energía para la refrigeración representa más del 30% del consumo total de electricidad

dad. Por lo tanto, es muy importante ahorrar energía para el enfriador utilizado durante todo el año en estos espacios.

La enfriadora de todo el año debe funcionar en modo de refrigeración bajo una amplia gama de condiciones ambientales. Por lo tanto, es muy importante mantener una alta eficiencia energética y fiabilidad durante todo el año. Actualmente, la mayoría de las enfriadoras para todo el año utilizan el sistema de refrigeración por compresión de vapor durante todo el año.

Sin embargo, como la temperatura ambiente en invierno es mucho más baja que la temperatura interior, será posible ahorrar mucha energía si se aprovecha al máximo la energía fría del ambiente durante el invierno. Para utilizar la refrigeración gratuita del exterior, se puede adoptar un economizador de aire, de agua y de tuberías de calor. El economizador de aire suministra directamente aire exterior frío o aire exterior enfriado por evaporación al centro de datos. El economizador de agua bombea agua fría de lago, de mar o agua de refrigeración a la sala. El economizador de tuberías de calor transfiere el calor interior al exterior a través de un refrigerante, evitando así el riesgo potencial de introducir aire y

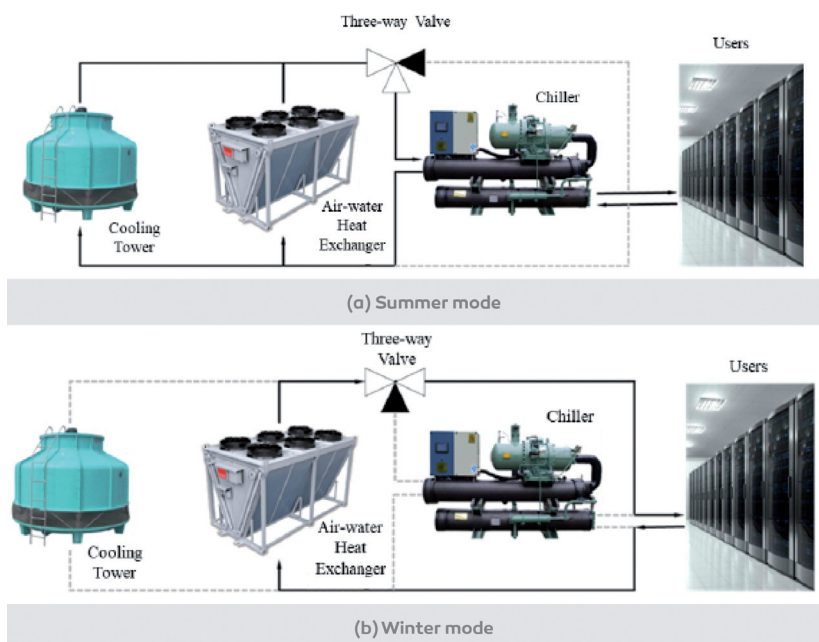


**Figura 5:** Configuración típica de un enfriador de todo el año [24]

agua exteriores sucios. Sobre esta base, para mejorar aún más la flexibilidad y la capacidad de control, varios grupos de investigación y fabricantes han desarrollado la enfriadora de todo el año, que combina el ciclo de compresión de vapor con diferentes economizadores.

La *Figura 5* muestra una enfriadora típica de todo el año con economizador de tubo de calor [24]. El compresor, el condensador, la válvula de expansión y el evaporador están conectados sucesivamente para realizar un modo de compresión de vapor (*Figura 5(a)*). Dos bucles adicionales con válvulas de control se ajustan para derivar el compresor y la válvula de expansión cuando la enfriadora funciona en modo de tubería de calor en tiempo frío (*Figura 5(b)*). El nuevo sistema se ha probado tanto en el modo de compresión de vapor como en el de tubo de calor. Las pruebas han demostrado que el nuevo sistema puede ahorrar un 30% de energía en comparación con las enfriadoras tradicionales [24].

En la *Figura 6* se muestra otro interesante sistema de refrigeración durante todo el año que combina la compresión de vapor y el economizador de agua [25]. Se combinan el intercambiador de calor aire-agua (AHX) y la torre de refrigeración (CT). En verano, la combinación de CT y AHX sirve de disipador de calor para evacuar el calor de condensación. La temperatura de condensación se reduce considerablemente y se consigue un mayor COP. En invierno, cuando la temperatura ambiente es lo suficientemente baja, el TC y la enfriadora se desconectan, y sólo el AHX funciona para producir agua fría gratuita para su uso directo en los edificios. Este sistema no sólo mejora la eficiencia energética de la refrigeración, sino también la fiabilidad del sistema de refrigeración por compresión de vapor y de la torre de refrigeración.



**Figura 6:** Sistema de refrigeración durante todo el año combinado con compresión de vapor y economizador de agua

Además, la enfriadora de tornillo refrigerada por aire McQuay es una enfriadora que funciona todo el año con un economizador de aire [11]. Proporciona refrigeración gratuita utilizando el aire exterior, y reduce significativamente los costes de funcionamiento de los sistemas de aire acondicionado en los centros de datos.

## APLICACIONES

Según el informe de investigación del mercado mundial de aire acondicionado publicado por BSRIA en marzo de 2019 [26], el mercado mundial de aire acondicionado vendió más de 141 millones de unidades a finales de 2018, con ventas que superaron los 103 mil millones de dólares. De estos, las ventas de enfriadores representaron aproximadamente el 4,5%. Según JARN [11], el mercado mundial de enfriadores creció un 6,3% interanual. Los principales mercados de enfriadores son China, Estados Unidos y Europa, que representan el 29,7%, el 15,3% y el 17,2% del mercado mundial, respectivamente.

En el proceso de sustitución de refrigerantes, el Protocolo de Montreal y el Protocolo de Kioto han desempeñado un papel muy importante. Muchos países desarrollados ya han eliminado la aplicación de los HCFC y los países en desarrollo también han iniciado el correspondiente proceso de eliminación en 2015 y deben completarlo para 2030. La UE publicó en 2014 una nueva normativa sobre gases fluorados, el Reglamento UE 2014/517/CE. Según esta normativa, los refrigerantes con un GWP superior a 750, incluido el R410A, estarán prohibidos en los aparatos de aire acondicionado unitarios a partir del 1 de enero de 2025. Los refrigerantes con un GWP superior a 2500, incluido el R404A, se han prohibido en los equipos de refrigeración comercial después del 1 de enero de 2020.

Afortunadamente, la comercialización de refrigerantes de bajo GWP se ha acelerado en los últimos años, especialmente en el caso de los HFO y sus mezclas. Todos los principales fabricantes de refrigerantes, compresores y enfriadoras lanzan constantemente nuevos productos relacionados con los refrigerantes de bajo GWP.

En 2018, el mercado mundial de enfriadoras centrífugas de rodamientos magnéticos alcanzó las 4.720 unidades, con un aumento del 26% interanual, superando ampliamente el crecimiento de las enfriadoras. Los principales mercados son Estados Unidos, China, Alemania, Italia y Australia. El mercado chino de enfriadoras centrífugas de rodamientos magnéticos creció un 42% interanual en 2018 y alcanzó las 1.158 unidades, lo que supone el 24,5% del mercado mundial [27]. Además de Danfoss Turbocor, casi todos los principales fabricantes de enfriadoras han

comenzado a desarrollar y producir sus propios compresores de rodamientos magnéticos. Haier logró las mayores ventas en el mercado mundial de enfriadoras centrífugas de cojinetes magnéticos en 2018, con 637 unidades vendidas en todo el mundo, lo que representa el 13,5% de la cuota de mercado mundial [11]. Como una de las innovaciones técnicas notables en HVAC, la tecnología de compresores sin aceite ha sido un importante motor para la expansión del mercado de enfriadores.

Hoy en día, el número total de centros de datos supera los 420.000 y su consumo de energía representa aproximadamente el 3% de la producción mundial de electricidad [28]. Sin embargo, cabe señalar que el aumento del consumo de energía de los centros de datos sigue estando muy por detrás del aumento del número de servidores, lo que puede atribuirse a la gran mejora de las tecnologías de refrigeración en el centro de datos. En un futuro próximo, las rápidas aplicaciones de comunicación 5G ejercerán una gran presión para frenar el aumento del consumo energético de los centros de datos. Según una investigación realizada por Grand View Research [29], el mercado mundial de la refrigeración de centros de datos alcanzará los 8.600 millones de dólares en 2018 y seguirá creciendo a un ritmo de aproximadamente el 13,5% hasta 2025. Además de utilizar la técnica de refrigeración líquida y desarrollar una electrónica resistente a las altas temperaturas, el uso de una fuente de refrigeración de alta eficiencia es la principal forma de ahorrar energía de refrigeración en los centros de datos. El enfriador de todo el año que utiliza la refrigeración libre natural es un enfoque importante para lograr una refrigeración de alta eficiencia.

## REFERENCIAS

- [1] Birol F. The future of cooling: opportunities for energy-efficient air conditioning[J]. Agence Internationale. de l'Énergie, 2018.
- [2] <https://globalcoolingprize.org/> [online]
- [3] R. Saidur, M. Hasanuzzaman, T.M.I. Mahlia, N.A. Rahim, H.A. Mohammed. Chillers energy consumption, energy savings and emission analysis in an institutional building[J]. Energy, 2011, 36(8).
- [4] UNEP. 2014 Report of the refrigeration, air conditioning and heat pumps technical options committee, 2015, <http://www.ozone.unep.org/en/assessmentpanels>; [online]
- [5] Johnson, P.A., Wang, X., et Amrane, K. 2012. AHRI Low-GWP Alternative Refrigerant Evaluation Program, ASHRAE/NIST Refrigerants Conference, NIST, Gaithersburg, MD USA, American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, GA, USA, 29-30 octubre.
- [6] Pearson, A. 2012. Opportunities for Ammonia, ASHRAE/NIST Refrigerants Conference, NIST, Gaithersburg, MD USA, American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, GA, USA, 29-30 octubre.
- [7] Larminat, P.D., 2014. A high temperature heat pump using water vapor as working fluid. Conférence IIF Gustav Lorentzen 2014, Hangzhou, Chine.
- [8] Colbourne, D., Solomon P., Wilson R., de Swardt L., Schuster M., Oppelt D. et Glol J. 2016. Development of R290 Transport Refrigeration System, paper ID 1002, 12ème Conférence IIF-Gustav Lorentzen sur les frigorigènes naturels, 21-24 août, Edinbourg, Écosse.
- [9] Mota-Babiloni A, Navarro-Esbri J, Barragán Á, et al. Drop-in energy performance evaluation of R1234yf and R1234ze (E) in a vapor compression system as R134a replacements[J]. Applied Thermal Engineering, 2014, 71(1): 259-265.
- [10] Lee, Y., Jung, D., 2012. A brief performance comparison of R1234yf and R134a in a bench tester for automobile applications. Applied Thermal Engineering, 35, 240-242.
- [11] JARN: Japan Air Conditioning, Heating & Refrigeration News, 2019.
- [12] [https://www.york.com/commercial-equipment/chilled-watersystems/water-cooled-chillers/yk\\_ch](https://www.york.com/commercial-equipment/chilled-watersystems/water-cooled-chillers/yk_ch) [online]
- [13] [https://www.trane.com/content/dam/Trane/Commercial/global/products-systems/equipment/chillers/water-cooled/helical-rotary/RLCPRC020J-EN\\_03112020.pdf](https://www.trane.com/content/dam/Trane/Commercial/global/products-systems/equipment/chillers/water-cooled/helical-rotary/RLCPRC020J-EN_03112020.pdf) [online]
- [14] Daikin Industries, Ltd. Falling film evaporator. [P] United States Patent: US 20170138652 A1, May 18, 2017
- [15] <http://www.mdbj.com.cn/chanpin2/li.asp> [online]
- [16] Haier magnetic bearing variable-speed centrifugal chillers [J]. Building Science, 2012(S2):331-335. (in chinese)
- [17] Zhao K, Liu X H, Zhang T, et al. Performance of temperature and humidity independent control air-conditioning system in an office building[J]. Energy and Buildings, 2011, 43(8): 1895-1903.
- [18] Xiao F, Ge G, Niu X. Control performance of a dedicated outdoor air system adopting liquid desiccant dehumidification[J]. Applied Energy, 2011, 88(1): 143-149.
- [19] Seshadri B, Rysanek A M, Schlueter A. Evaluation of low-lift sensible cooling in the tropics using calibrated simu-

lation models and preliminary testing[J]. Energy Procedia, 2017, 122: 511-516.

[20] Zhao K, Liu X H, Zhang T, et al. Performance of temperature and humidity independent control air-conditioning system in an office building[J]. Energy and Buildings, 2011, 43(8):1895-1903.

[21] Liu H, Zhang Z P, Xie Y Q. Development and research on high leaving temperature refrigerating centrifugal compressor[J]. Fluid Machinery, 2010, 38(4): 74-79. (in chinese)

[22] Bharath Seshadri, Adam Rysanek, Arno Schlueter. High efficiency 'low-lift' vapour-compression chiller for high-temperature cooling applications in non-residential buildings in hot-humid climates[J]. Energy & Buildings, 2019, 187:24-37.

[23] Open Data Center Committee of CAICT. White book of data center, 2018. (in chinese)

[24] Zhang P, Wang B, Wu W, et al. Heat recovery from Internet data centers for space heating based on an integrated air conditioner with thermosyphon[J]. Renewable Energy, 2015, 80:396-406.

[25] Li X, Lyu W, Ran S, et al. Combination principle of hybrid sources and three typical types of hybrid source heat pumps for year-round efficient operation[J]. Energy, 2020, 193: 116772.

[26] BSRIA. The Global Air-conditioning Market Research Report 2018.

[27] Global Magnetic Bearing Central Air Conditioning Industry Research Report 2018. (in chinese)

[28] Masanet E., Shehabi A., Lei N., Smith S., Koomey J. Recalibrating global data center energy-use estimates, Science, 2020, 367(6481): 984-986.

[29] Grand View Research, Inc: Data Center Cooling Market Size, Share & Trends Analysis Report 2019-2025. Date of publication : Jan, 2019, Report ID: 978-1-68038-652-3, <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/data-center-cooling-market> [online]

## Recomendaciones del IIR

Con el desarrollo económico, el crecimiento de la población, el aumento del nivel de vida y el calentamiento global, la refrigeración de espacios es más necesaria que nunca. El consumo de energía para la refrigeración de espacios está aumentando rápidamente. La creciente demanda mundial de refrigeración de espacios se ha convertido en uno de los problemas energéticos más críticos y, sin embargo, a menudo

descuidados de nuestro tiempo. Satisfacer la demanda de electricidad, especialmente en las horas punta, se está convirtiendo en un gran reto para el futuro. Por otra parte, además de las emisiones indirectas de gases de efecto invernadero derivadas del consumo de energía, la refrigeración de espacios también es una fuente importante de emisiones directas de gases de efecto invernadero. La mayoría de los refrigerantes utilizados actualmente tienen un alto potencial de calentamiento global. Por lo tanto, es urgente reducir el consumo de energía relacionado con la refrigeración de espacios mediante la mejora de la eficiencia energética de los equipos clave, como las enfriadoras, y la adopción de refrigerantes de bajo potencial de calentamiento global.

Sobre la base de las revisiones mencionadas, se resumen a continuación algunas conclusiones y recomendaciones relativas a la refrigeración de espacios y los refrigeradores:

- La demanda de refrigeración de espacios está en auge. Hay que tomar medidas urgentes para frenar el crecimiento del consumo de energía y limitar los costes económicos y medioambientales potencialmente importantes.

- Hay que tomar medidas en dos direcciones: mejorar la eficiencia energética de los sistemas de aire acondicionado y utilizar refrigerantes respetuosos con el medio ambiente.

- El ahorro de energía en la refrigeración de espacios depende del diseño, la instalación, el funcionamiento y el mantenimiento adecuados del sistema central de aire acondicionado. Dentro del sistema, la enfriadora de alta eficiencia energética desempeña el papel más importante.

- Se han hecho esfuerzos adicionales para mejorar la eficiencia energética de los enfriadores y se han hecho grandes progresos en los últimos años. Los enfriadores sin aceite, los enfriadores de alta temperatura y los enfriadores combinados con energía natural son ejemplos típicos.

- La comercialización de refrigerantes y refrigeradores de bajo GWP ha avanzado notablemente en los últimos años. El desarrollo de la cooperación internacional sobre el acuerdo climático acelerará el proceso de sustitución de los refrigerantes.

[www.iifir.org](http://www.iifir.org)

