

El CO₂ es un refrigerante que utilizado desde el siglo XIX se abandonó por otros refrigerantes de utilización más sencilla viéndose desplazado por refrigerantes fluorados como el R12 y el R22. Tras la problemática medioambiental que el agujero en la capa de ozono generaba, el CO₂ resurge como refrigerante para sustituir precisamente a los refrigerantes que habían causado su desaparición. Las mejoras tecnológicas y los nuevos desarrollos permitieron que se implantara como refrigerante con futuro.

Esta guía pretende transmitir tranquilidad en el uso del CO₂ en aplicaciones tanto industriales como del sector terciario y en la climatización.

Su incorporación en sistemas de distribución de frío y calor (district cooling/heating) tanto en sistemas de recuperación de calor como en bombas de calor pueden ayudar a alcanzar los objetivos de "España Circular 2030" y "Agenda 2030".

Los nuevos desarrollos tecnológicos en intercambiadores de calor, en compresores, en eyectores, han generado que el CO₂ se pueda llevar a aplicaciones impensables hace unas décadas. Este aumento de aplicaciones ha generado un gran reto al sector, con una mayor demanda de profesionales especializados en este refrigerante, y con unas mejoras en la calidad de los sistemas de refrigeración.

USO DEL CO₂ COMO REFRIGERANTE

USO DEL CO₂ COMO REFRIGERANTE

en el ámbito de la refrigeración industrial, comercial y el acondicionamiento de aire



LAS GUÍAS DE AEFYT



**USO DEL CO₂ COMO REFRIGERANTE EN EL ÁMBITO DE LA REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL,
COMERCIAL Y EL ACONDICIONAMIENTO DE AIRE**

PUBLICADO POR PRIMERA VEZ EN 2023

AUTORES:

| | |
|--|--|
| RICARD GIMÉNEZ, Ingeniero Consultor. Asesor De Aefyt | IGNACIO BAIXAULI, Ingeniero. Eliwell |
| LORENA HERNANDEZ, Ingeniera. Asofrio | FERNANDO GARCÍA, Ingeniero. Friex |
| ALESSANDRO LABRICCIOSA, Ingeniero. Bc-Systems | JAVIER CANO, Ingeniero. Intarcon |
| JUAN CARLOS RODRÍGUEZ, Ingeniero. Clauger Refrigeración Iberia | JORDI MADROÑERO, Ingeniero Panasonic |
| JUAN ALVAREZ CASAL, Ingeniero. Clauger Refrigeración Iberia | MANUEL LAMÚA, Ingeniero. Aefyt |
| CRISTIAN VILLARÍN, Ingeniero. Coldsulting | FÉLIX SANZ, Ingeniero. Aefyt |

REDACCIÓN

RICARD GIMÉNEZ,
Ingeniero Consultor. Asesor de Aefyt

DISEÑO Y MAQUETACIÓN
TECNOLOGÍA GRÁFICA. S.L.

Cualquier reproducción, parcial o total de la presente publicación,
debe contar con la aprobación por escrito de AEFYT.

ISBN: 978-84-09-46454-8
Depósito Legal: M-23859-2023

EDITORIAL:
ASOCIACIÓN DE EMPRESAS DE FRÍO Y SUS TECNOLOGÍAS (AEFYT)

PRÓLOGO DE AEFYT

En AEFYT se potencia la difusión de todos los campos y conceptos de refrigeración, por ello cuando profesionales del sector de la Refrigeración Industrial plantearon que debería realizarse un guía técnico comercial de CO₂ para su difusión en seno de la Asociación empresarial del sector como es AEFYT, se acometió la ejecución de la misma. La idea era excelente y requería la colaboración de distintas empresas del sector, donde para elaborar un documento consensado entre todos los participantes se realizaron reuniones de trabajo presenciales y virtuales periódicas con participación de expertos del sector.

El CO₂ es un refrigerante que utilizado desde el siglo XIX se abandonó por otros refrigerantes de utilización más sencilla viéndose desplazado por refrigerantes fluorados como el R12 y el R22. Tras la problemática medioambiental que el agujero en la capa de ozono generaba, el CO₂ resurge como refrigerante para sustituir precisamente a los refrigerantes que habían causado su desaparición. Las mejoras tecnológicas y los nuevos desarrollos permitieron que se implantara como refrigerante con futuro.

Esta guía pretende transmitir tranquilidad en el uso del CO₂ en aplicaciones tanto industriales como del sector terciario y en la climatización.

Su incorporación en sistemas de distribución de frío y calor (district cooling/heating) tanto en sistemas de recuperación de calor como como en bombas de calor pueden ayudar a alcanzar los objetivos de "España Circular 2030" y "Agenda 2030".

Los nuevos desarrollos tecnológicos en intercambiadores de calor, en compresores, en eyectores, han generado que el CO₂ se pueda llevar a aplicaciones impensables hace unas décadas. Este aumento de aplicaciones ha generado un gran reto al sector, con una mayor demanda de profesionales especializados en este refrigerante, y con unas mejoras en la calidad de los sistemas de refrigeración.

Con esta guía queremos aportar nuestro granito de arena facilitando la transmisión de conocimiento que permita la instalación segura de los sistemas frigoríficos, para que los refrigerantes naturales como el CO₂ aporten soluciones sostenibles en un mundo donde el frío cada día es más necesario.



PRÓLOGO DE IIAR

El IIAR se complace en ofrecer su apoyo a la Guía de refrigeración con CO₂ recientemente publicada por AEFYT como una ayuda para comprender la historia y el uso práctico del CO₂ como refrigerante. Su generatriz aborda aspectos importantes de la sostenibilidad ambiental, las preocupaciones de seguridad y la operatividad del sistema. La eliminación gradual de los refrigerantes fluorados y la preocupación por la eficiencia energética hacen que el uso de CO₂ y otros refrigerantes naturales sea cada vez más importante. Esta publicación promoverá su uso en industrias tradicionales y diversificadas donde el CO₂ se puede usar con éxito. IIAR es una asociación de más de 3400 profesionales de refrigeración dedicados al uso seguro de CO₂ y otros refrigerantes naturales a través del desarrollo de estándares, pautas, investigación y programas educativos. Desde el IIAR deseamos lo mejor a nuestra asociación aliada, AEFYT, y los felicitamos por crear un documento tan interesante e informativo. www.iiar.org

The IIAR is pleased to offer its support of AEFYT's recently published CO₂ Refrigeration Guide as an aid for understanding the history and practical use of CO₂ as a refrigerant. The guideline addresses the important aspects of environmental sustainability, safety concerns, and system operations. The phaseout of fluorinated refrigerants and concern for energy efficiency make the use of CO₂ and other natural refrigerants ever more important, and this publication will promote its use within traditional and diversified industries where CO₂ can be successfully used. IIAR is an association of over 3400 refrigeration professionals dedicated to the safe use of CO₂ and other natural refrigerants through the development of standards, guidelines, research, and educational programs. We at IIAR, wish the best to our allied association, AEFYT, and congratulate them in creating such an interesting and informative document. www.iiar.org



International Institute of Ammonia
Refrigeration (IIAR)
www.iiar.org

PRÓLOGO DE IOR

El IOR acoge con satisfacción esta publicación de AEFYT como guía útil y práctica sobre el uso del CO₂ como refrigerante. IOR no ha realizado una revisión detallada del texto en español, pero apreciamos el estilo de presentación y apoyamos la orientación que ayuda a mejorar el conocimiento, la conciencia y la seguridad del uso de CO₂. El Instituto de Refrigeración es la asociación profesional y científica benéfica del Reino Unido para la promoción de la ciencia y la práctica de la refrigeración para el beneficio público y proporciona experiencia técnica que representa a más de 2000 miembros individuales del Reino Unido. www.ior.org.uk

The IOR welcomes this publication by AEFYT as helpful and practical guidance on the use of CO₂ as a refrigerant. IOR has not conducted a detailed review of the text in Spanish but we appreciate the style of presentation and, we support guidance that helps to improve knowledge, awareness and safety of the use of CO₂. The Institute of Refrigeration is the UK professional association and scientific charity for the promotion of the science and practice of refrigeration for the public benefit and provides technical expertise representing over 2000 individual UK members. www.ior.org.uk



Institute of Refrigeration (IOR)
www.ior.org.uk

INDICE

¿PORQUÉ SE HA RETOMADO EL USO DEL CO₂ COMO REFRIGERANTE?

21 1. El anhídrido carbónico CO₂ como refrigerante.

- 21 1.1 Historia (utilización como refrigerante).
- 23 1.2 Producción del CO₂.
 - 23 1.2.1 Estado natural.
 - 24 1.2.2 Obtención.
- 24 1.3 Seguridad y aspectos medioambientales.
 - 24 1.3.1 Propiedades físicas.
- 27 1.4 Normativa aplicable.

33 2. Sistemas de refrigeración con CO₂.

- 33 2.1 En función de la fuente de enfriamiento.
- 34 2.2 Sistemas subcríticos en cascada.
 - 35 2.2.1 Sistemas transcritos.
 - 37 2.2.1.1 Circuito básico.
 - 37 2.2.1.2 Compresor paralelo.
 - 37 2.2.1.3 Enfriamiento del gas procedente del refrigerador.
 - 37 2.2.1.4 Uso de Gas-Cooler adiabáticos.
 - 39 2.2.1.5 Recuperación de calor.
 - 40 2.2.1.6 Sistema booster.
 - 41 2.2.1.6.1 Compresores dos etapas (Compound).
 - 42 2.2.1.7 Eyectores.
 - 45 2.2.1.8 Sistemas inundado con recalentamiento nullo.
 - 45 2.3 Alternativas para incrementar la eficiencia.

49 3. Precauciones en la colocación de equipos.

- 49 3.1. Generalidades.
- 49 3.1.1 Comportamiento con el agua.
- 49 3.1.2 El CO₂ y el aceite.
- 49 3.1.3 Compatibilidad de materiales.
- 50 3.2 Salas de máquinas.
- 50 3.3 Emplazamiento en el exterior.
- 50 3.4 Cámaras.
- 51 3.5 Locales ocupados (salas de ventas).

53 4 Clasificación según el modo de alimentar el evaporador.

- 53 4.1 Expansión seca.
- 54 4.2 Inundado con válvula de expansión.
- 55 4.3 Mediante flotador.
- 55 4.4 Por bombeo de refrigerante.
- 56 4.5 Sistemas de refrigeración, indirecto o indirecto.
- 56 4.5.1 Sistemas directos.
- 56 4.5.2 Sistemas indirectos.
- 59 4.6 Sistema mixto.

63 5. Componentes.

- 63 5.1 Compresores.
- 64 5.2 Intercambiadores.
- 65 5.3 Tuberías.
- 65 5.4 Recipientes.
- 66 5.5 Sistemas de bombeo.

| | |
|----|--|
| 69 | 6.1 Sistemas de congelación. |
| 69 | 6.2 Industria pesquera en el mar. |
| 71 | 6.3 Industria pesquera en tierra. |
| 71 | 6.4 Congelación del suelo. |
| 72 | 6.5 Pistas de hielo. |
| 73 | 6.6 Frio comercial. |
| 75 | 6.7 Industria en general. |
| 75 | 6.7.1 Enfriamiento y congelación de masas. |
| 75 | 6.7.2 Congelación de masas. |
| 76 | 6.7.3 Industrias lácteas y centrales lecheras. |
| 77 | 6.7.4 Plantas de liofilización. |
| 79 | 6.7.5 Equipos compactos. |
| 80 | 6.7.6 Bombas de calor. |
| 82 | 6.7.7 Aire acondicionado de vehículos. |

| | |
|----|--|
| 85 | 7.1 Comparación de la eficiencia entre sistemas. |
| 86 | 7.2 Condensación flotante. |
| 86 | 7.3 Evaporación flotante. |
| 87 | 7.4 Control de velocidad por variadores de frecuencia. |
| 88 | 7.5 Sistemas de control. |
| 88 | 7.6 Instalaciones en cascada. |

| | |
|-----|---|
| 89 | 8 Aspectos económicos. |
| 89 | 8.1 Métodos de cálculo. |
| 91 | 8.2 Ciclo de vida, factores a considerar. |
| 95 | 9 Control de fugas. |
| 95 | 9.1 Sistemas de detección del CO ₂ en el ambiente. |
| 97 | 10 Medidas de prevención. |
| 97 | 10.1 Formación de personal. |
| 101 | 11 Conclusión. |

¿PORQUE SE HA RETOMADO EL USO DEL CO₂ COMO REFRIGERANTE?

El interés en las aplicaciones del anhídrido carbónico como refrigerante se debe primordialmente a las consecuencias que se han constatado durante el uso de los refrigerantes halocarbonados:

- La destrucción de la capa de ozono debida a CFC y HCFC generó su prohibición a través del Protocolo de Montreal.
- El calentamiento atmosférico como consecuencia de la emisión de gases que favorecen el efecto invernadero provocó la necesidad de limitar e incluso prohibir, la utilización de los HFC que se habían introducido como sustitutos de los CFC y HCFC, lo que tuvo lugar mediante la formalización del Protocolo de Kioto.

El 15 de octubre de 2016, las 197 partes del Protocolo de Montreal firmaron la enmienda de Kigali para reducir gradualmente el uso de hidrofluorocarbonos (HFC) en todo el mundo. Esta enmienda reforzaba el objetivo del Acuerdo de París cuya meta es mantener el calentamiento global por debajo de 1,5 °C a 2 °C para el año 2100.

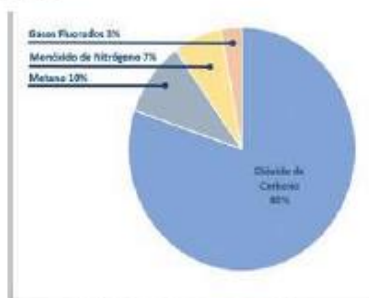


Fig. 1. Emisiones de GFEI

Entre los gases de efecto invernadero, además de los fluorados con elevados niveles de potencial de calentamiento atmosférico (PCA), destaca el Anhídrido Carbónico (CO₂), pues si bien tiene un PCA muy bajo se emite en cantidades ingentes debido a que es un efecto secundario del consumo energético. En el gráfico adjunto puede verse la contribución de los gases fluorados y del CO₂.

Finalmente, la Unión Europea para conseguir esta meta, se propuso los objetivos que se reflejan en el siguiente gráfico:

➤ Calendario de reducción gradual - CO₂ equivalente:

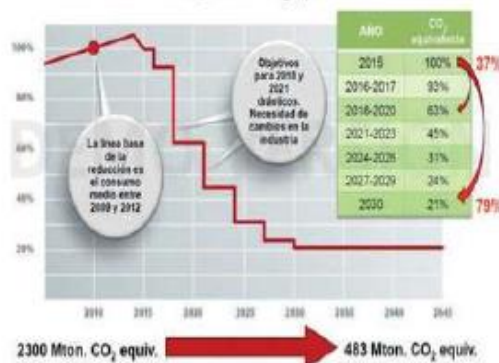


Fig. 2. Reducción de emisiones de refrigerantes en Toneladas de CO₂ equivalente

Para solucionar la futura carencia de refrigerantes se han planteado y desarrollado dos posibilidades.

- Sintetizar nuevos refrigerantes.
- Usar refrigerantes conocidos y compatibles con la protección del medioambiente.

Con la opción a), el proceso puede desembocar en lo desconocido, como se desprende de la experiencia actual:

- Después de una gran expansión los CFC y HCFC se han tenido que prohibir (Protocolo de Montreal)
- Los sustitutos "definitivos" HFC constituyeron el siguiente fracaso.
- Se descubrió que el R123 era cancerígeno cuando ya estaba en el mercado.
- Los llamados hidrofluorolefinas (HFO), aunque con un potencial de calentamiento atmosférico (PCA) reducido o incluso nulo, continúan siendo HFC o incluso HCFC como se puede comprobar en el Anexo II del Reglamento (UE) 517/2014.

Hay que destacar que, en una evaluación de riesgos realizada para el uso de refrigerante de HFO hasta el año 2100, utilizando las emisiones proyectadas del enfoque MIT-5 (Sección 4), el TFA (Ácido Trifluoroacético $\text{CF}_3\text{C}(\text{O})\text{OH}$) se ha modelado como el producto de descomposición de algunos HFC y HFO. El TFA es una sustancia registrada en REACH como peligrosa si se inhala y es un preparado con efectos nocivos sobre los organismos acuáticos. No es biodegradable con lo que irá aumentando su concentración con lo que el riesgo para el medioambiente solo puede aumentar en el futuro.

En ciertos foros europeos se plantea realizar la valoración de los PCA de los refrigerantes con un horizonte temporal de 20 años en lugar de los 100 años actuales, lo cual aceleraría el cambio hacia refrigerantes naturales.

La posibilidad b) significa que se elijan fluidos que estén presentes en la naturaleza y por tanto no haya riesgo de que aparezcan efectos secundarios perjudiciales para el entorno. Por esta razón reciben la denominación de "refrigerantes naturales". Como clasificación general, estos refrigerantes son sustancias que existen de forma natural en el medio ambiente, en tanto que los que podríamos denominar "refrigerantes no naturales" o "refrigerantes sintéticos" son productos químicos sintetizados por el hombre a partir de estudios de laboratorio y no se encontraban presentes en el ambiente antes de su obtención.

Puede argüirse que se trata de una falacia, puesto que los llamados "naturales", al fin y al cabo, son también obtenidos artificialmente utilizando procesos industriales. Sin embargo, estas sustancias no contribuyen al agotamiento del ozono, ni al calentamiento global, ni atentan contra la seguridad ecológica, a diferencia de ciertos productos químicos artificiales que permanecen durante años y años sin alteraciones o degradándose a productos nocivos para el entorno. La alta eficiencia de los refrigerantes naturales permite, además, que su contribución indirecta al calentamiento global sea también menor.

Los refrigerantes naturales utilizados en la actualidad son:

- Aire (R-729)
- Agua (R-718)
- Anhídrido carbónico o CO_2 (R-744)
- Amoníaco o NH_3 (R-717)

- Hidrocarburos HC: Propano (R-290), Propileno (R-1270), Butano (R-600), Isobutano (R-600a), etano (R-170)

El uso de alguno de estos fluidos puede incluir determinados riesgos, pero estos quedarán controlados mediante una ejecución y mantenimiento apropiados, basados en la extensa experiencia disponible y el cumplimiento de los reglamentos, ordenanzas locales y normas aplicables.

Esta guía ha sido posible gracias al patrocinio de

