



energy efficiency
ecology frost-trol

frost **CO₂**



FrostCO₂ , una nueva línea de expositores refrigerados | FrostCO₂ , a new line of refrigerated cabinets
FrostCO₂ , une nouvelle ligne de meubles frigorifiques

1. Introducción Introduction <i>Introduction</i>	2
1.1 Evolución historica Background <i>Évolution historique</i>	4

R744, el refrigerante | R744, the refrigerant | *R744, le réfrigérant*

2. Propiedades Properties <i>Propriétés</i>	6
2.1 Ventajas y desventajas Advantages and disadvantages <i>Avantages et inconvénients</i>	9

I+D+i Frost-trol | Frost-Trol R&D&i | *R&D&i Frost-Trol*

3. Investigación y Desarrollo Research and Development Department <i>Département de la Recherche et du Développement</i>	10
--	-----------

Expositores refrigerados frostCO₂ | Refrigerated display cabinets frostCO₂ | *Nouvelle gamme de meubles réfrigérés frostCO₂*

4. Expositores refrigerados Refrigerated display cabinets <i>Meubles réfrigérés</i>	12
--	-----------

Refrigeración Green & Cool Green & Cool refrigeration <i>Réfrigération Green & Cool</i>	14
--	-----------



FRE

FrostCO₂, une nouvelle ligne de meubles frigorifiques

Frost-trol affronte le défi des fluides naturels et conçoit une nouvelle gamme de meubles réfrigérés, frostCO₂, qui utilisent le R744 en conditions d'opération transcritiques.

1. INTRODUCTION

L'histoire des supermarchés remonte au XVIII^e siècle, lorsque quelques établissements commerciaux consacrés à la vente de produits périssables ouvrirent leurs portes dans plusieurs pays. Vers 1930, les supermarchés émergent comme un nouveau concept de vente de produits périssables. Dès leur origine, ils constituent l'un des types d'établissements à plus forte consommation d'énergie où s'utilisent diverses substances chimiques en tant que fluides réfrigérants. De récentes études révèlent que les supermarchés contribuent de manière directe et indirecte à la dégradation de l'écosystème global: directement du fait de l'utilisation intensive de substances chimiques dans les systèmes de réfrigération tels que les CFC, les HFC et les HCF, et indirectement en raison de la forte consommation d'énergie électrique et de son effet secondaire de production de CO₂ dans les centrales thermiques.

En Espagne, on estime que la consommation d'énergie des supermarchés se situe autour de 3,85 % de la consommation d'énergie électrique nationale dépensée en 2009, et contribue ainsi à la dégradation de l'écosystème. La Figure 1 présente la distribution d'énergie d'un supermarché en Espagne. Comme on peut observer, la consommation d'énergie associée à la réfrigération oscille entre 45 % et 55 %: entre 18% et 20% sont destinés à l'éclairage, tandis qu'entre 20% et 25% sont destinés à la climatisation et entre 7% et 10% à d'autres usages tels que l'eau chaude, les fours à pain et la pâtisserie respectivement.

Les réglementations environnementales en vigueur et la connaissance au sein de l'industrie de la distribution des aliments portant sur les effets nocifs du secteur sur la dégradation de l'écosystème et de l'environnement sont à l'origine de la recherche de solutions alternatives aux fluides réfrigérants actuels (HFC). Des solutions sont proposées en ce sens, basées sur des fluides naturels comme les hydrocarbures (R290 et R600a), le dioxyde de carbone (R744), et l'ammoniaque (NH₃) qui ont un faible indice de PRG. (Potentiel de Réchauffement Global). Les systèmes de réfrigération par compression de vapeur qui utilisent du CO₂ ont une bonne acceptation du fait de leur faible PRG, de leur moindre coût et d'un haut potentiel de réduction d'énergie. N'étant pas toxiques, ils sont considérés comme des systèmes sûrs pour l'environnement.

J. Blanco Castro, Ph.D
 Research and development department,
 Frost-trol, S.A.
 Ctra. Valencia-Barcelona, km. 68,9
 12080 Castellón de la Plana
 Spain

ESP

FrostCO₂, una nueva línea de expositores refrigerados

Frost-trol, S.A. cumple con el reto de los fluidos naturales y diseña una nueva línea de expositores refrigerados, frostCO₂, que emplean dióxido de carbono como refrigerante en condiciones transcriticas de trabajo.

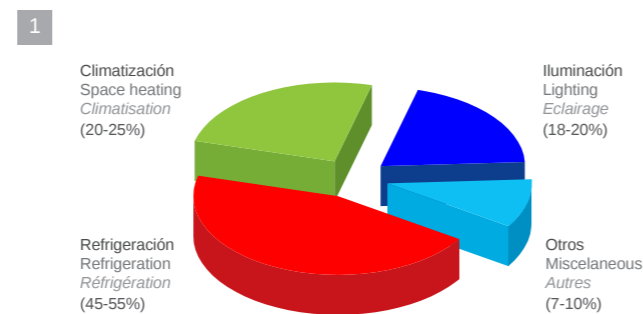
1. INTRODUCCIÓN

La historia de los supermercados se remonta a mediados del siglo XVIII, cuando algunos establecimientos comerciales dedicados a la venta de productos perecederos abrieron en varios países. Entorno a 1930, los supermercados emergen como un nuevo concepto de venta de productos perecederos. Desde su origen, constituyen uno de los establecimientos de mayor consumo de energía, en los cuales se emplean diversas sustancias químicas como fluidos refrigerantes. Estudios recientes demuestran que los supermercados contribuyen directa e indirectamente al deterioro del ecosistema global: de forma directa debido al uso intensivo de sustancias químicas en los sistemas de refrigeración, tales como los CFCs, HFCs y HCFs y de forma indirecta, debido al elevado consumo de energía eléctrica y su efecto secundario de producción de CO₂ en las centrales térmicas.

En España, el consumo de energía de los supermercados se estima en 3,85% del consumo de energía eléctrica nacional gastada en 2009, con su correspondiente contribución al deterioro del ecosistema. La Fig. 1 muestra la distribución de energía de un supermercado en España. Como puede observarse en la misma, el consumo de energía asociado con la refrigeración esta en torno al 45-55%, entre

el 18-20% se emplea para la iluminación, mientras que entre el 20-25% se utiliza para la climatización y entre un 7-10% para otros usos, tales como agua caliente, hornos de panadería y pastelería, respectivamente.

Las regulaciones medioambientales vigentes y el conocimiento por parte de la industria de la distribución de alimentos del efecto dañino del sector sobre el deterioro del ecosistema ambiental, han promovido la búsqueda de soluciones alternativas a los actuales fluidos refrigerantes (HFC). En ese sentido, se plantean soluciones basadas en fluidos naturales tales como, los hidrocarburos (R290 y R600a), el dióxido de carbono, y el amoníaco (NH₃) los cuales poseen un bajo índice de GWP (índice que mide la capacidad de una sustancia para contribuir al calentamiento global). Los sistemas de refrigeración por compresión de vapor que utilizan CO₂ tienen una amplia aceptación debido al bajo GWP, su bajo coste, su elevado potencial de ahorro energético, y a que no es un fluido tóxico; es considerado seguro con el medio ambiente.



1. Distribución de energía consumida por un supermercado en España. Breakdown of energy usage in a typical Spanish supermarket. Distribution d'énergie consommée par un supermarché en Espagne.

ENG

FrostCO₂, a new line of refrigerated cabinets

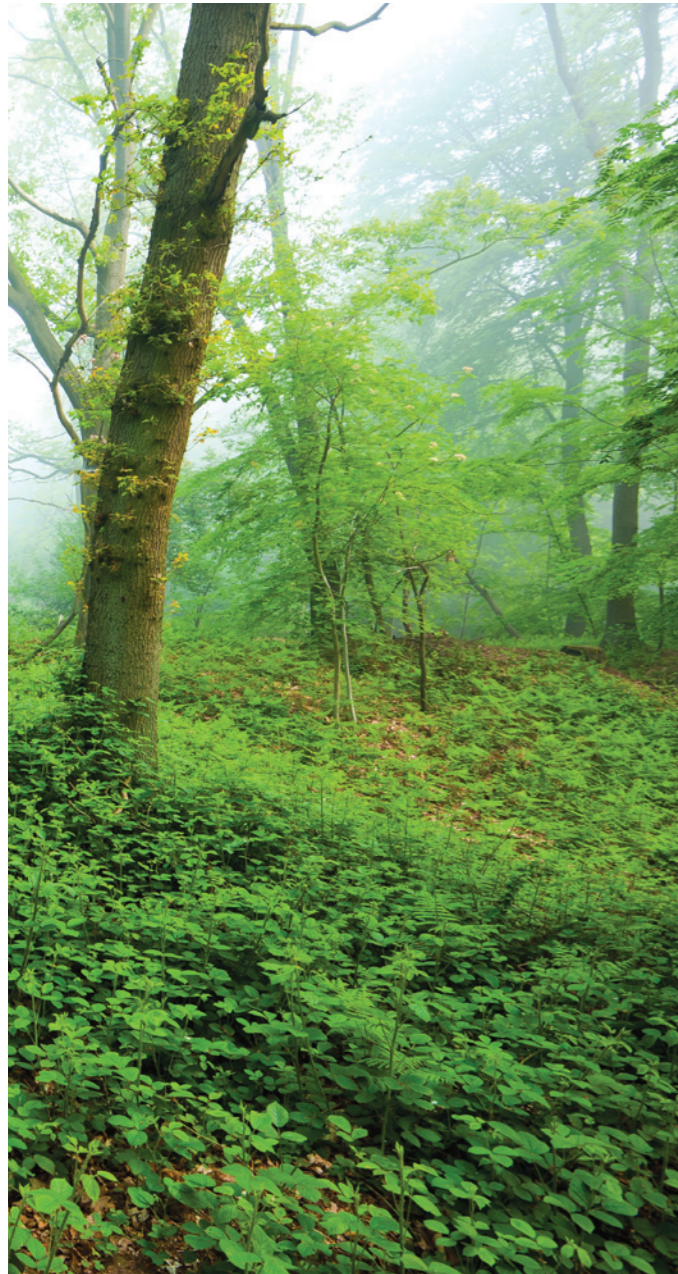
Frost-trol, S.A. meets the challenge of natural refrigerants and designs a new line of refrigerated display cabinets, frostCO₂ using carbon dioxide as a refrigerant in transcritical operating conditions.

1. INTRODUCTION

The history of supermarkets began in the middle of the 18th century, when small food stores opened in different countries. Around 1930, supermarkets emerged as a new concept of food selling. Since then, supermarkets have been intensive users of energy in all countries and from the beginning, several synthetic substances have been used as refrigerants. Today we know that supermarkets have always contributed both directly and indirectly to global warming: directly, because the greenhouse gas emissions appear through the leakage of CFCs, HFCs and HCFCs refrigerants used in the refrigeration systems for refrigeration food and also, indirectly because of the huge consumption of electricity and its secondary effect of CO₂ production in power stations.

In Spain, the electricity consumption in large supermarkets is estimated to be 3,85% of the national electricity use in 2009, with the corresponding contribution to ecosystem degradation. Fig. 1 shows the breakdown of energy usage in a typical supermarket in Spain, of which 45-55% is used for refrigeration, 18-20% for lighting, 20-25% for comfort (ventilation, heating and cooling), 7-10% for miscellaneous (water heating and cooking), respectively.

The global supermarket industry is more and more committed to environment preservation. Increasing concern and regulatory actions related to the environmental impact of hydro fluorocarbon (HFC) refrigerants has prompted a re-emergence of natural refrigerants such as hydrocarbons, carbon dioxide, ammonia. CO₂-based refrigeration systems is of interest due to a low global warming potential, its low price, potential energy savings, non-toxicity and a positive safety rating.



ESP

1.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA

En 1834, el físico francés Thilorier consiguió licuar dióxido de carbono CO₂ por expansión simple, e incluso su solidificación después de una segunda expansión. La primera utilización del CO₂ como fluido frigorígeno fue descrita en el año 1850 por Alexander Twining. El dióxido de carbono retornó de la mano de Carl von Linde (1842- 1934, el cual también es un precursor de la utilización del amoníaco) y Thaddeus S.C. Lowe. Franz Windhausen & Brunswick patentaron el primer compresor para CO₂ en 1886. Mas tarde, la compañía británica J&E Hall obtuvo una licencia para fabricar el compresor.

En el período comprendido entre 1930-1970, el CO₂ fue reemplazado en la refrigeración comercial por los actuales frigorígenos, conocidos como "freones", principalmente los clorofluorocarbonados (CFCs) tales como R11, R12 y R13, y los hidroclorofluorocarbonados (HCFCs) tales como el R22 y R502. Estos últimos fueron promovidos como refrigerantes seguros comparados con el amoníaco (NH₃) y el dióxido de azufre debido a que trabajan a menores presiones y requieren componentes con un menor coste de producción.

Durante la década de 1970, la capacidad de destrucción del ozono de los CFCs y HFCs fue descubierto. En 1980, los estudios presentados por Sherwood Rowland y Mario Molina (1974) en la revista Natura, en los cuales relacionaron la disminución de la capa de ozono atmosférico (ODP) y el incremento del calentamiento global (GWP) debido al uso de los clorofluorocarbonados como refrigerantes en los sistemas de compresión de vapor simple, han promovido la búsqueda de fluidos frigorígenos alternativos. La tabla 1 muestra una comparación entre los valores de ODP y GWP para los refrigerantes comúnmente empleados en sistemas de compresión de vapor.

A pesar los acuerdos internacionales alcanzados, el problema de los CFCs aún no está solucionado. El protocolo de Montreal promovió la eliminación del CFCs (incluidos el R-12 y R-502) en 1996, y estableció el calendario de eliminación de los HCFCs (incluido el R-22) para el año 2010 reduciéndose su producción en un 25%. En la búsqueda de soluciones alternativas al problema medioambiental, los fluidos naturales, tales como el amoníaco, los hidrocarburos (HCs), el glicol y el CO₂ han resurgido.

En 1990, los trabajos del profesor Gustav Lorentzen han revivido el interés sobre la utilización del CO₂ como refrigerante en condiciones transcriticals. El CO₂ es un fluido natural con un bajo impacto ambiental. Posee excelentes propiedades termodinámicas y una buena solubilidad con los aceites lubricantes; así como cumple con la normativa de seguridad en cuanto a toxicidad e inflamabilidad. El CO₂ es tóxico a concentraciones por encima del 5% en el aire.

1.1

Refrigerant	GWP* PRG* (100 year basics)	ODP** PDO**
R290	3	0.0
R600a	3	0.0
R404a	3800	0.0
Carbon dioxide	1	0.0
R744		
R11 CFC		4000
R12 CFC		8500
R22 HCFC		1700
R134a HFC	1300	0.0
R502a HFC	16200	0.23
R717	0.0	0.0

*GWP se calcula relativo al dióxido de carbono=1
 **ODP se calcula relativo al R11=1
 *GWP is relative to Carbon dioxide=1
 **ODP is relative to R11=1
 *PRG relatif au dioxyde de carbone = 1
 **PDO (Potentiel déplétion ozonique) relatif a R11=1

1.1. Estudio de los refrigerantes | Survey of refrigerants | Etude des réfrigérants

ENG

1.1 BACKGROUND

Old physics books report that CO₂ was solidified for the first time in 1835 by the French physicist Thilorier, and in turn was used as a cooling agent (dry ice) to solidify mercury. The first mechanical refrigeration system using carbon dioxide as a refrigerant was introduced in 1866 by the aeronaut, scientist and inventor, T.S.C. Lowe. Franz Windhausen from Brunswick patented a compressor for a carbon dioxide machine in 1886. Later, the British Company J&E Hall bought a licence to built a CO₂ compressor.

In the period from 1930 to 1970, the CO₂ began to be replaced in the commercial refrigeration sector by the so-called new refrigerants "freons", primarily chlorofluorocarbons (CFCs) such as R11, R12 and R13, and hydro chlorofluorocarbons (HCFCs) such as R22 and R502. It was promoted as a safe refrigerant compared to the more noxious alternatives, ammonia and sulphur dioxide, and quickly gained popularity; as it works at much lower pressures and requires refrigeration components that are less costly to produce.

During the 1970s, the disastrous effect of the CFCs and HCFCs on the ozone layer was discovered. In the 1980's, the surveys presented by Sherwood Rowland and Mario Molina (1974) in the magazine Nature, in which they relate the ozone layer depletion (ODP) and global warming potential (GWP) due to the use of chlorofluorocarbons as refrigerants in simple vapour compression systems, gave rise to the search of alternative refrigerant fluids. Table 1 shows a comparison between the ODP and GWP values for the refrigerants which are commonly used in vapour compression systems.

Despite international agreements, the problem of CFCs is still far from being solved. The Montreal Protocol banned CFCs in 1996 and set up a phase out schedule for HCFCs. This government mandate eliminated the use of refrigerants R-12 and R-502. HCFCs, including R-22, which are currently being banned by law and in 2010 production will be reduced by 25%. Due to the movement towards low ODP and GWP, natural fluids, such as ammonia, hydrocarbons, glycol and carbon dioxide are gaining interest.

In 1990s, Professor Gustav Lorentzen revived interest in CO₂ refrigerant technology in transcritical cycle. Carbon dioxide is a natural gas with low environmental impact. It has good chemical compatibility with common materials and relatively good solubility with a number of oils. It fulfils current safety regulations with respect to restrictions on toxic and flammable refrigerants. CO₂ is toxic at moderate concentrations, especially above 5% by volume in air.

FRE

1.1 ÉVOLUTION HISTORIQUE

En 1834, le physicien français Thilorier parvint à liquéfier du dioxyde de carbone CO₂ par expansion simple, voire à le solidifier après une deuxième expansion. La première utilisation du CO₂ comme fluide frigorigène fut décrite en 1850 par Alexander Twining. On assiste alors à un retour du dioxyde de carbone grâce à Carl von Linde (1842- 1934, qui est aussi un précurseur de l' utilisation de l' ammoniaque) et à Thaddeus S.C. Lowe. Franz Windhausen et Brunswick sont à l' origine du brevet du premier compresseur pour CO₂ en 1886. Plus tard, la société britannique J&E Hall obtient une licence pour fabriquer le compresseur.

Le dioxyde de carbone en tant que fluide frigorigène fut largement utilisé, notamment en transport maritime, durant la dernière partie du XIX siècle et le début du XX siècle. Dans les années comprises entre 1930 et 1970, le CO₂ fut remplacé dans la réfrigération commerciale par les fluides frigorigènes actuels plus connus comme "fréons", principalement les chlorofluorocarbones (CFC) tels que le R11, le R12 et le R13 et les hydrochlorofluorocarbones (HCFC) tels que le R22 et le R502. Ces derniers furent promus comme étant des réfrigérants sûrs par rapport à l' ammoniaque (NH₃) et au dioxyde de soufre du fait qu' ils travaillent à des pressions inférieures et qu' ils requièrent des composants à un moindre coût de production.

Au cours des années 70, on découvre la capacité de dégradation de l' ozone des CFC et HFC. Les études présentées par Sherwood Rowland et Mario Molina (1974) dans la revue Natura, dans lesquels furent exposées la dégradation de la couche d' ozone dans l' atmosphère (PDO) et l' augmentation du réchauffement global (PRG) en raison de l' utilisation des chlorofluorocarbones comme réfrigérants dans les systèmes de compression de vapeur simple, ont donné lieu à la recherche de fluides frigorigènes alternatifs. Le tableau 1.1 présente une comparaison entre les valeurs PDO et PRG pour les réfrigérants communément utilisés dans les systèmes de compression de vapeur.

Malgré les accords internationaux qui ont été adoptés, il n' existe pas encore de solution au problème des CFC. Le protocole de Montreal favorise l' élimination du CFC (y compris le R-12 et R-502) en 1996, et établit un calendrier pour l' élimination des HCFC (en incluant le R-22) pour l' année 2010. Dans la recherche de solutions alternatives au problème de l' environnement, les fluides naturels tels que l' ammoniaque, les hydrocarbures (HC) , le glycol et le CO₂ font leur réapparition.

Les études du professeur Gustav Lorentzen (1990) sont à l' origine du renouveau du CO₂ comme réfrigérant en conditions transcriticals. Le CO₂ est un fluide naturel à faible impact environnemental. En outre, il possède d' excellentes propriétés thermodynamiques, une bonne solubilité avec les huiles lubrifiantes et respecte les normes de sécurité en matière de toxicité et d' inflammabilité. Le CO₂ est toxique à des taux de concentrations supérieures à 5% dans l' air. Les systèmes de réfrigération avec du CO₂ qui opèrent avec efficacité sont rentables du fait de la faible consommation d' énergie des compresseurs et des hauts coefficients de transfert de chaleur du fluide; aussi est-il possible de réduire les coûts des installations en raison de la diminution des dimensions des composants comme les tuyauteries, les compresseurs, les échangeurs de chaleur, etc.



ESP

R744, el refrigerante

2. PROPIEDADES

La principal diferencia entre el dióxido de carbono (denominado por el ASHRAE como R744) y los refrigerantes empleados en los actuales sistemas de compresión de vapor, puede observarse en la fig 2. Como muestra la Figura, dos importantes zonas están claramente definidas: el "punto triple" y el "punto crítico".

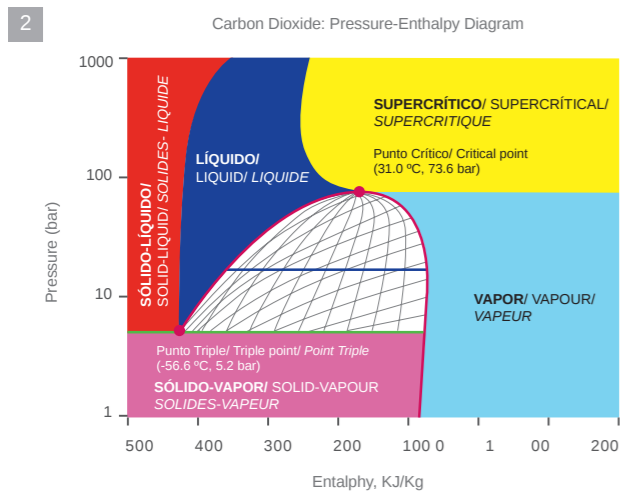
El "punto triple" representa la condición donde las tres fases coexisten en equilibrio. Para una temperatura por debajo del punto triple (5.2 bar

y una temperatura de -49.2°C), el CO₂ se convierte en sólido. En la fase subcrítica, el comportamiento del CO₂ es similar al de los refrigerantes tradicionales, excepto que la presión de trabajo es relativamente elevada. Para una temperatura ambiente de 25°C, la presión de trabajo del CO₂ es de 62 bar. Por otra parte, el "punto crítico" se presenta a temperaturas inferiores a 31°C pero con una presión de 73 bar. Para una temperatura superior a (31°C), la densidad del vapor y el líquido coexisten, a cuya región se conoce como "región supercrítica". En la Fig. 3 se muestra la variación del consumo del compresor en función de la presión de salida del gas cooler durante los ensayos de caracterización del modelo COPi-190 de Frost-Trol.

Los resultados muestran que existe un valor optimizado de presión de salida del gas cooler, entorno a 80 bar. Para una presión superior, el consumo del compresor se incrementa entorno al 40%. En realidad, cuando el CO₂ trabaja en la fase supercríticas se obtienen las mayores prestaciones del sistema en el rango de presiones entre (80-90 bar).

Los sistemas de compresión de vapor con CO₂ que trabaja en condiciones supercríticas, tienen una mayor eficiencia cuando operan en condiciones subcríticas. Por esa razón, esta tecnología es ampliamente aceptada en regiones donde las temperaturas ambientales, son habitualmente inferiores a 31°C, pero existen soluciones tecnológicas que permiten encontrar un equilibrio entre las temperaturas ambientales de climas cálidos y los elevados valores del coeficiente de eficiencia (COP) para el CO₂ en condiciones transcricas de operación.

Las elevadas presiones de trabajo del CO₂ constituyen un reto importante para el desarrollo de un sistema eficiente. La presión de trabajo del CO₂ es entre 5-10 veces mayor comparada con los fluidos tradicionales, como se muestra en la fig 4. Ello implica la necesidad de emplear nuevos componentes y formar a los instaladores en cuanto a las prestaciones del refrigerante se refiere. Por otra parte, en la Fig. 5 se muestra la variación del calor latente de vaporación en función de



2. Diagrama de fase del R744 | Phase diagram for R744 | Diagramme de phase du R744

la temperatura para los refrigerantes tradicionalmente empleados en los sistemas de refrigeración. Como puede observarse, el calor latente de vaporización del R134a respecto del CO₂ es muy similar, entorno a 200-400 kJ/kg; mientras que los valores de NH₃ son significativamente superiores. Además de ello, las elevadas presiones de trabajo del CO₂ están relacionadas a una mayor densidad del vapor en comparación con otros refrigerantes, como puede observarse en la Fig 6. Esta propiedad constituye una ventaja tecnológica debido a que para una mismo flujo másico de refrigerante, el flujo volumétrico trasegado por el compresor es menor; lo cual permite reducir el dimensionamiento de los componentes de la instalación. Finalmente, en la Fig. 7 puede observarse que la capacidad volumétrica de refrigeración del CO₂ es cinco veces mayor si la comparamos con otros refrigerantes.

ENG

R744, the refrigerant

2. PROPERTIES

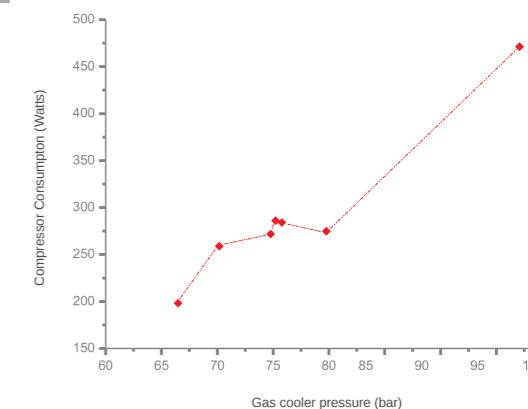
The main difference between carbon dioxide (ASHRAE name R744) and other common refrigerants are pressure-temperature characteristics, as shown in Fig 2. As it can be observed, there are two important state points marked on the Figure: the "triple point" and the "critical point".

The "triple point" represents the condition in which all three phases can co-exist in equilibrium. At temperatures below the triple point (5.2 bar and a temperature of -49.2°C), CO₂ will turn into a solid. In the sub critical phase, CO₂ is similar to HFC refrigerants except that it has very high pressure. At a room temperature of 25°C, the pressure of CO₂ is 62 bar. On the other hand, the "critical point" occurs with a low temperature of 31°C although at a high pressure of 73 bar. At temperatures above (31°C), the density of liquid and vapour are identical, and liquid CO₂ cannot be distinguished from vapour. This is called the "supercritical region". Fig. 3 shows the experimental evolution of compressor consumption as a function of gas cooler outlet pressure during the characterization test of Copi-190 model of Frost-trol.

The results shows that there is an optimum value of gas cooler pressure close to 80 bar. Above this pressure, the compressor power consumption increases by 40% approximately. In fact, carbon dioxide in the supercritical phase operates better in a high pressure range (80-90 bar). The transcritical CO₂ systems, which can operate in the supercritical range, are more efficient when operating in the sub-critical range. For this reason, this technology is more widely accepted in those regions where ambient temperatures are frequently below 31°C, but there are technical solutions which enable to find an equilibrium between warm ambient conditions and the higher coefficient of performance (COP) value of CO₂ systems working in the transcritical cycle.

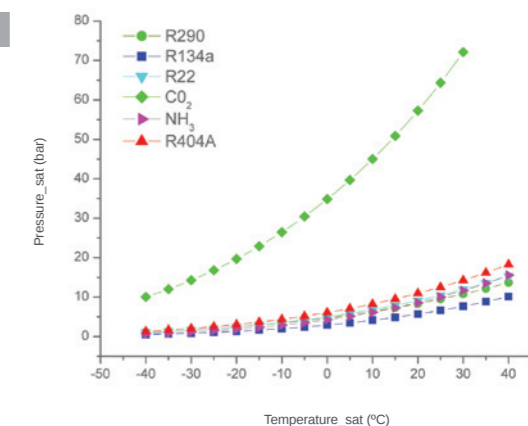
The CO₂ working pressures are a big challenge for the implementation of a technical system, especially on the high pressure side. The pressures in a CO₂ refrigeration system are 5 to 10 times higher compared to traditional fluids, as shown in fig 4. This leads to necessary developments of new components and installation training allowing installers' certification in the field of brazing/welding as they need to have experience with this refrigerant.

3



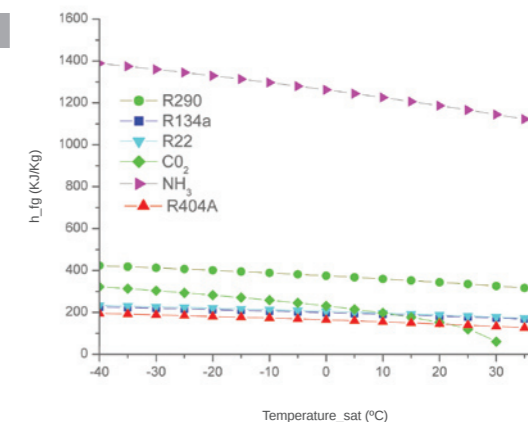
3. Variación del consumo del compresor en función de la presión de la salida del gas cooler | Variation of the compressor consumption as a function of gas cooler outlet pressure | Variation de la consommation du compresseur en fonction de la pression de sortie du gaz cooler

4



4. Variación de la presión de saturación en función de la temperatura para los refrigerantes tradicionalmente empleados en los sistemas de refrigeración | Saturation pressure as a function of temperature for several refrigerants traditionally used in refrigeration systems | Variation de la pression de saturation en fonction de la température pour les réfrigérants traditionnellement utilisés dans les systèmes de réfrigération

5

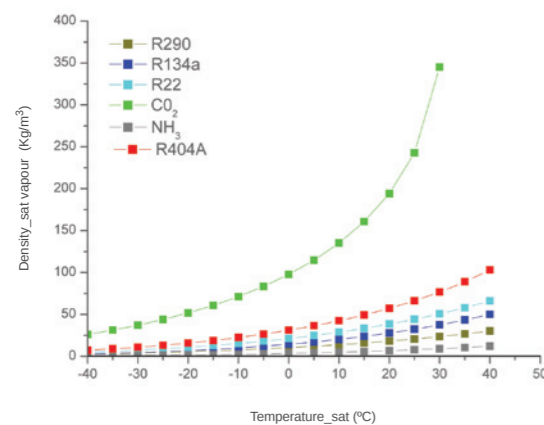


5. Variación del calor latente de vaporización en función de la temperatura para los refrigerantes tradicionalmente empleados en los sistemas de refrigeración | Heat of vaporization as a function of temperature for several refrigerants traditionally used in refrigeration systems | Variation de la chaleur latente de vaporisation en fonction de la température pour les réfrigérants traditionnellement utilisés dans les systèmes de réfrigération

On the other hand, Fig. 5 shows the heat of vaporization effect as a function of temperature for several refrigerants. As shown, R134a and CO₂ have similar heat of vaporization at common evaporation temperature. These two fluids have a latent heat of vaporization in the range 200 to 400 kJ/kg. NH₃ has significantly higher values. Closely linked to its high saturation pressures, CO₂ has a higher saturated vapour density than other refrigerants, as shown in fig 6. This is an advantage to obtain a low volume flow for a given mass flow, and provides a reduction of the components size.

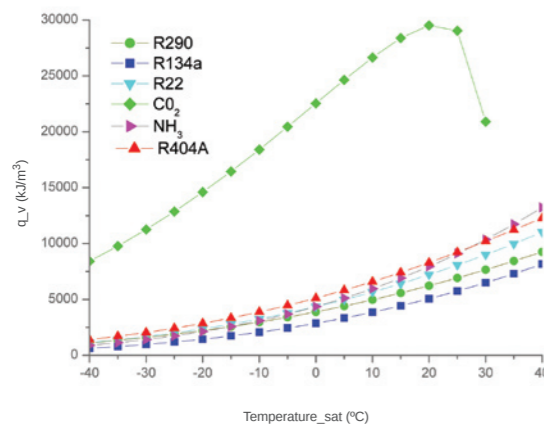
Finally, as shown in Fig. 7, CO₂ has a volumetric capacity of refrigeration about five times larger compared to other refrigerants. Thanks to this property, systems running with CO₂ have, for a given refrigeration capacity, smaller compressors and small pipes due to the lower pressure drop.

6



6. Variación de la densidad del vapor en función de la temperatura para los refrigerantes tradicionalmente empleados en los sistemas de refrigeración | Vapour density as a function of temperature for several refrigerants traditionally used in refrigeration systems | Variation de la densité de la vapeur en fonction de la température pour les réfrigérants traditionnellement utilisés dans les systèmes de réfrigération

7



7. Variación de la capacidad volumétrica de refrigeración en función de la temperatura para los refrigerantes tradicionalmente empleados en los sistemas de refrigeración | Refrigeration capacity as a function of temperature for several refrigerants traditionally used in refrigeration systems | Variation de la capacité volumétrique de réfrigération en fonction de la température pour les réfrigérants traditionnellement utilisés dans les systèmes de réfrigération

FRE

R744, le réfrigérant

2. PROPRIÉTÉS

La dénomination du CO₂ comme réfrigérant, définie par l'ASHRAE, est R744. Sur le diagramme de phase (V. Figure. 2), on peut distinguer la principale différence entre le R744 et les réfrigérants utilisés dans les systèmes actuels à compression de vapeur. Comme on peut observer sur ce diagramme, deux zones importantes sont clairement définies: le "point triple" et le "point critique".

Le point triple est le point du diagramme de phase qui correspond à la coexistence en équilibre des trois états. Pour une température en dessous du point triple (5,2 bar et une température de -49,2°C) le CO₂ se solidifie. En phase subcritique, le comportement du CO₂ est similaire à celui des réfrigérants traditionnels, sauf que la pression de travail est relativement élevée. Pour une température ambiante de 25°C, la pression de travail du CO₂ est de 62 bar. D'autre part, le point critique apparaît à des températures inférieures à 31°C mais avec une pression de 73 bar. Pour une température supérieure à 31°C, la densité de la vapeur et du liquide coexistent: cette région est connue comme étant la "région supercritique". On peut observer sur la Fig.3 la variation de la consommation du compresseur en fonction de la pression de sortie du gaz cooler durant les essais de caractérisation du modèle COPI-190 de Frost-Trol.

Les résultats révèlent l'existence d'une valeur optimale de pression de sortie du gaz-cooler (autour de 80-90 bar). Pour une pression supérieure, la consommation du compresseur augmente d'environ 40%. En réalité, lorsque le CO₂ travaille en phase supercritique, les prestations du système quant au rang de pression entre 80-90 bar sont meilleures.

Les systèmes de compression de vapeur avec du CO₂ travaillant en conditions supercritiques sont plus efficaces lorsqu'ils travaillent en conditions subcritiques. Aussi, cette technologie est-elle largement acceptée dans des régions où les températures ambiantes sont habituellement inférieures à 31°C; cependant il existe des solutions technologiques qui permettent de trouver un équilibre entre les températures ambiantes de climats chauds et les valeurs plus élevées du coefficient d'efficacité COP pour le CO₂ en conditions de travail transcritiques.

Les hautes pressions de travail du CO₂ constituent un défi important pour le développement d'un système efficace. La pression de travail du CO₂ est de 5 à 10 fois supérieure si on la compare avec les fluides traditionnels (V. Figure 4). Ceci implique la nécessité d'utiliser de nouveaux composants et de former les installateurs quant aux prestations du réfrigérant.

Par ailleurs, la Figure 5 montre la variation de la chaleur latente de vaporisation en fonction de la température pour les réfrigérants traditionnellement utilisés dans les systèmes de réfrigération. Comme on peut observer, la chaleur latente de vaporisation du R134a par rapport au CO₂ est très similaire, environ 200-400 kJ/kg; tandis que les valeurs du NH₃ sont nettement supérieures.

En outre, les hautes pressions de travail du CO₂ sont en rapport avec une densité plus importante de la vapeur si on compare à d'autres réfrigérants comme on peut observer sur la Fig.6. Cette propriété constitue un avantage technologique puisque pour un

même flux de masse de réfrigérant, le flux volumétrique transvasé par le compresseur est plus faible, ce qui permet de réduire le dimensionnement des composants de l'installation.

Finalement, on peut observer sur la figure 7 que la capacité volumétrique de réfrigération du CO₂ est cinq fois supérieure si on la compare à celle d'autres réfrigérants

ESP

2.1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Con respecto a la utilización del CO₂ como refrigerante en los sistemas de refrigeración por compresión de vapor, existen una serie de ventajas e inconvenientes, tales como:

2.1.1 Ventajas

- Es un fluido neutro con el medio ambiente, con un ODP=0 y GWP=1;
- El CO₂ tiene una elevada capacidad volumétrica comparado con otros refrigerantes. Esto hace posible reducir el dimensionamiento de las instalaciones, compresores y tuberías, etc;
- Permite disminuir los costes económicos de la instalación debido a la eficiencia de los compresores y los intercambiadores de calor;
- El CO₂ tiene un coeficiente de transferencia de calor mayor que el R404A;
- Elevada capacidad de disipación de calor en la fase supercrítica;
- Existe en el medio ambiente, y es barato. Los costes de producción del CO₂ son aproximadamente un 90% menos comparado con otros refrigerantes;
- Es más pesado que el aire;

2.1.2 Desventajas

- El CO₂ tiene una alta solubilidad en el aceite. Por esta razón, es posible tener problemas con el retorno del aceite en los compresores;
- Límites de utilización. Punto crítico (31°C y 73,28 bar) y el Punto triple (56,6°C y 5,2 bar)
- El CO₂ tiene una elevada presión de trabajo independientemente de la temperatura ambiente. En la región supercrítica, los mejores resultados se obtienen para un rango de presión entre 80-90 bar;

ENG

2.1. ADVANTAGES AND DISADVANTAGES

Regarding the use of CO₂ as a refrigerant in refrigerated vapour compression systems, there are a number of advantages and disadvantages, such as:

2.1.1 Advantages

- Environmentally neutral with ODP=0, and GWP=0;
- CO₂ has a volumetric capacity higher than other traditional refrigerants. This makes it possible to reduce the size of components such as piping, compressors, heat exchangers, etc;
- Reduced running cost due to compressor efficiency;

- Boiling heat transfer coefficient is better than R-404A;
- High rejection heat in the supercritical region;
- Available, cheap and common. CO₂ costs are currently 90% less than traditional refrigerants;
- Heavier than air;

2.1.2 Disadvantages

- CO₂ has High solubility in oil. For this reason, it is possible to have problems with oil return;
- Limited usage. Critical point (31°C at 73,8 bar) and triple points (-56,6°C at 5,2 bar);
- CO₂ has High pressure independent of ambient temperature. In supercritical range, the best results are rendered in the pressure range of 80-90 bar;

FRE

2.1. AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

En ce qui concerne l'utilisation du CO₂ comme réfrigérant dans les systèmes de réfrigération par compression de vapeur, il existe une série d'avantages et d'inconvénients, tels que:

2.1.1 Avantages

- Fluide neutre vis à vis de l'environnement, avec un PDO = 0 et un PRG = 1
- Haute capacité volumétrique par rapport à d'autres réfrigérants, ce qui permet de réduire le dimensionnement des installations, des compresseurs et des tuyauteries.
- Il permet de réduire le coût des installations en raison de la haute performance des compresseurs et des échangeurs de chaleur.
- Le CO₂ possède un coefficient de transfert de chaleur plus élevé que le R404A.
- Haute capacité de dissipation de chaleur en phase supercritique.
- Il existe dans notre environnement. Par conséquent, fluide bon marché à prix de revient faible et compétitif. Les coûts de production du CO₂ sont environ 90% moindres par rapport aux autres réfrigérants.
- Il est plus lourd que l'air.

2.1.2 Inconvénients

- Le CO₂ possède une haute solubilité avec l'huile. Aussi peut-il y avoir des problèmes avec le retour de l'huile dans les compresseurs.
- Limites d'utilisation. Point critique (31°C y 73,28 bar) et Point triple (56,6°C y 5,2 bar).
- Le CO₂ a une haute pression de travail indépendamment de la température ambiante. Dans la région supercritique, on obtient les meilleurs résultats pour un rang de pression entre 80 et 90 bar;



ESP

I+D+i Frost-trol

3. INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Activa en el campo de la refrigeración de CO₂ desde 2005, cuando se firmó un acuerdo de investigación con la Universidad Jaume I de Castellón (España) para el estudio del CO₂ como refrigerante en aplicaciones comerciales, la empresa Frost-trol, S.A. puso en marcha una instalación de compresión de vapor CO₂ por expansión directa en condiciones transcriticals, con fines comerciales. La Fig. 8 muestra el esquema de trabajo de la instalación de pruebas puesta en práctica ese mismo año, en las instalaciones del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la UJI. En esta instalación, es posible evaluar el rendimiento de diferentes configuraciones del ciclo termodinámico y se estudian diversos métodos de control de la presión de salida del gas cooler con el fin de obtener las mejores prestaciones del ciclo. En los últimos años, Frost-trol, S.A. ha desarrollado con éxito muchas soluciones de alta tecnología para los supermercados que se encuentran funcionando actualmente en muchos países Europeos.

En la Figura 9, se muestra un expositor horizontal durante los ensayos de caracterización de su funcionamiento con CO₂ en condiciones transcriticals de operación, conforme a la normativa EN ISO-23953, utilizando CO₂ como refrigerante.

Después de una importante serie de ensayos con diferentes modelos de expositores refrigerados para temperaturas positivas y/o negativas; con varios diseños de intercambiadores, de tuberías; así

como de pruebas de control de regulación de la presión de salida del gas cooler, el primer supermercado fue instalado con tecnología de Frost-trol, S.A. a mediados del 2008, en Holanda. A finales del 2010, unos treinta supermercados están trabajando con tecnología de Frost-trol, S.A. y Green & Cool, en Dinamarca y en Holanda, respectivamente.

En los países del Mediterráneo, las elevadas temperaturas ambientales tienen un efecto negativo sobre la eficiencia del sistema. En los sistemas de refrigeración por compresión de vapor con CO₂ que trabajan en condiciones transcriticals, el rendimiento decrece. En este sentido, Frost-trol, S.A. ha desarrollado un sistema que combina la utilización del CO₂ y el sistema de climatización de pasillo NCA-Systems que permite utilizar el CO₂ bajo diferentes condiciones ambientales con una elevada eficiencia del sistema. La Figura 11 muestra una imagen del laboratorio para aplicaciones de CO₂ ubicado en nuestras instalaciones. Los resultados preliminares indican que la potencia frigorífica del expositores se reduce un 45% con respecto a los resultados obtenidos para clase climática III (25°C y 60% de humedad relativa), con una presión de evaporación mayor, entorno a 2K comparado con el sistema que emplea R404A, como fluido de trabajo.

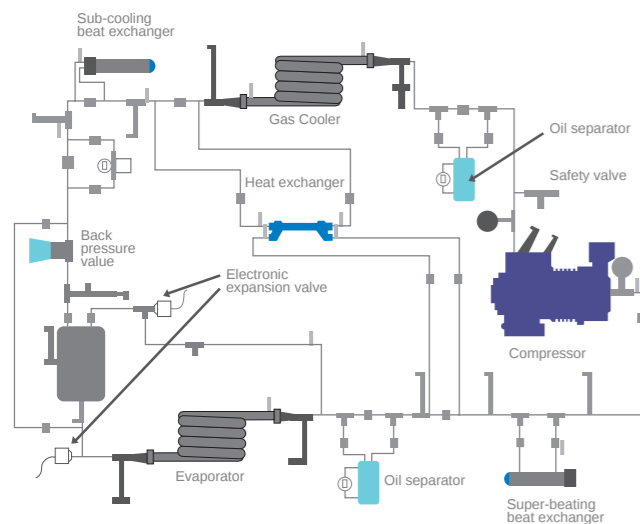
ENG

Frost-Trol R&D&i

3. RESEARCH AND DEVELOPMENT DEPARTMENT

As an active company in the field of CO₂ refrigeration since 2005, when a research agreement was signed with Jaume I University of Castellon (Spain) for the study of CO₂ as a refrigerant in commercial applications, Frost-trol, S.A. has carried out a CO₂ vapour compression installation by direct expansion in transcritical conditions, for commercial purposes. Fig 8 shows the flow sheet of the test installation which has been up and running since that year within the

8



8. Esquema de ensayos de la instalación de pruebas del ciclo del CO₂ ubicada en la Universidad JAUME I de Castellón | Schematic of the test laboratory for CO₂ applications in Jaume I University of Castellón | Schéma des essais de l'installation avec cycle du CO₂ située à l'Université de Jaume I de Castellón

9



9. Imágenes de un expositor horizontal abierto (modelo COPI-190) durante los ensayos de caracterización conforme a la normativa ISO 23953 (2) | Pictures of test climate room with an open horizontal refrigerated display cabinet (COPI-190 model) loaded according to ISO-23953 (2) | Images d'un meuble horizontal ouvert (Modèle COPI-190) durant les essais de caractérisation suivant la Norme ISO 23953

10



10. Imagen de un Supermercado en Dinamarca trabajando con CO₂ con tecnología de Frost-trol, S.A. y Green & Cool | Picture of supermarket in Denmark running with Frost-trol, S.A. and Green & Cool CO₂ technology | Image d'un supermarché au Danemark fonctionnant avec du CO₂ avec la technologie de Frost-trol, S.A et de Green & Cool

facilities of the Machinery and Thermic Motors Department at Jaume I University in Castellon. This installation has permitted to evaluate the performance of different configurations of the thermodynamic cycle and different control methods of the gas cooler outlet pressure can be studied in order to obtain the highest cycle performance. In recent years, Frost-trol, S.A. has successfully developed many high-tech solutions for supermarkets that are currently operating in many European countries.

Fig. 9 shows an open horizontal display cabinet filled to capacity with test packages during the test with CO₂ as a refrigerant in transcritical conditions, in accordance with EN-ISO-23953 standards, using CO₂ as a refrigerant.

After extensive investigation of the system operation and of the display cases in frozen and chiller temperature and various evaporator designs, piping configurations and control methods, the first supermarket was actually installed in mid-2008. By the end of 2010, about thirty supermarket with carbon dioxide are running in Denmark and the Netherlands with Frost-trol, S.A. and Green & Cool technology.

In the Mediterranean countries, the higher ambient conditions have a negative effect on the system performance. The system running in transcritical range as well as the system efficiency decrease. In this sense, we have developed an innovative refrigeration system that combines CO₂ and the Frost-trol, S.A. patent NCA-System, which allows the use of the CO₂ under different ambient conditions. Fig. 11 shows the picture of test laboratory for CO₂ applications at Frost-trol, S.A. The installation has all the necessary instruments to measure temperatures, pressures, refrigerant mass flow and to evaluate the cycle energy consumptions. The preliminary results indicate that the heat extraction rate can be decreased by 45% and the evaporation temperature increased by 2K compared with the system using R404a as a refrigerant.

FRE

R&D&i Frost-Trol

3. DÉPARTEMENT DE LA RECHERCHE ET DU DÉVELOPPEMENT

Fortement active dans le domaine de la réfrigération avec du CO₂ depuis 2005, année où la société Frost-trol, S.A. signe un accord de collaboration avec l'Université Jaume I de Castellón, Frost-trol développe et met en marche une installation de compression de vapeur en détente directe de R744 en conditions transcritiques, à des fins commerciales. La Figure 8 montre le schéma de travail de l'installation et du laboratoire d'essais mis en oeuvre en cette époque, au sein même des installations de la Division de Machines et Moteurs Techniques de l'Université Jaume I.

On peut évaluer dans cette installation la performance de différentes configurations du cycle thermodynamique. Par ailleurs, diverses méthodes de contrôle de la pression de sortie du gaz cooler y ont été étudiées afin d'obtenir les meilleures prestations possibles du cycle.

La Figure 9 montre un type de vitrine horizontale au cours des essais de caractérisation de son fonctionnement avec du R744 en condi-

tions de travail transcritiques, conformément à la norme EN ISO-23953, en utilisant le CO₂ comme réfrigérant.

A la suite de nombreux essais importants sur divers modèles de meubles réfrigérés et divers types d'échangeurs et de tuyauteries, et de divers essais de contrôle de la régulation de la pression de sortie du gaz cooler, Frost-Trol équipe avec sa propre technologie le premier supermarché aux Pays Bas en 2008. A la fin de l'année 2010, une trentaine de supermarchés travaillent déjà avec la technologie de Frost-trol, S.A. et de Green & Cool au Danemark et aux Pays Bas respectivement.

Dans les pays méditerranéens, les températures ambiantes élevées ont un effet négatif sur l'efficacité du système. Il est bien connu qu'en travaillant en conditions transcritiques la performance décroît. Aussi, en ce sens, la société Frost-trol, S.A. a-t-elle développé un système qui combine l'utilisation du R744 et le système de climatisation des allées, Système NCA, qui permet de travailler avec du R744 sous différentes conditions ambiantes et avec une très bonne performance du système. La Figure 11 montre une image du laboratoire situé dans nos installations pour des applications de CO₂. Les résultats préliminaires indiquent que la puissance frigorifique des meubles diminue de l'ordre de 44% par rapport aux résultats obtenus pour la classe climatique III (25°C et 60% d'humidité relative) avec une pression d'évaporation plus élevée d'environ 2K par rapport au système qui utilise le R404A comme fluide de travail.

ESP

Expositores refrigerados frostCO₂

4. EXPOSITORES REFRIGERADOS

Frost-trol, S.A., con más de 50 años de historia, es una compañía especializada en el diseño, la fabricación y la comercialización de muebles expositores refrigerados para la conservación de productos perecederos. En los últimos años, la empresa ha desarrollado una completa gama de expositores frigoríficos, conocida como frostCO₂ que trabajan con CO₂ como fluido refrigerante, tal y como se muestra en la Fig. 12.

ENG

Refrigerated cabinets frostCO₂

4. REFRIGERATED DISPLAY CABINETS

Frost-trol, S.A., a company founded more than fifty years ago, is a company specialized in the design, manufacture and commercialization of refrigerated display cases for the sale of perishable food. Within its wide product range, the company has developed a new line of refrigerated display cabinets named frostCO₂ running with CO₂ refrigerant, as shown in Fig. 12.

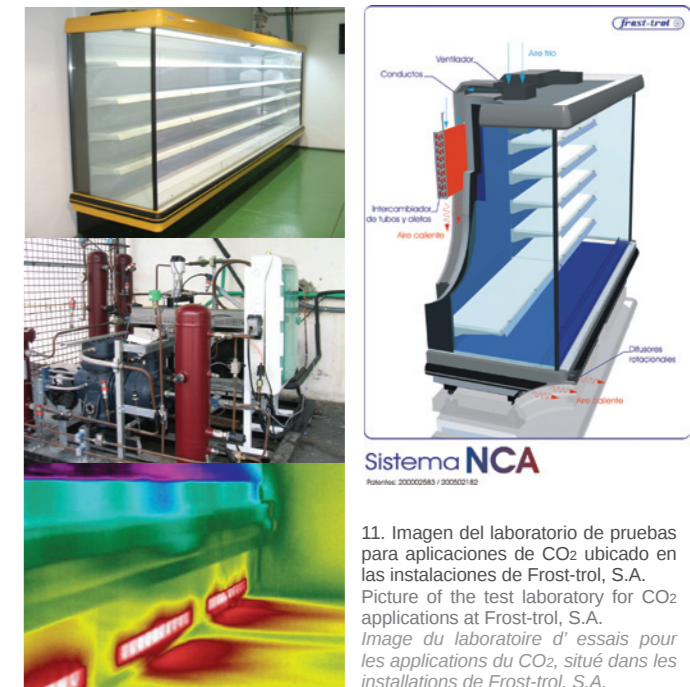
FRE

Meubles frigorifiques frostCO₂

4. MEUBLES RÉFRIGÉRÉS

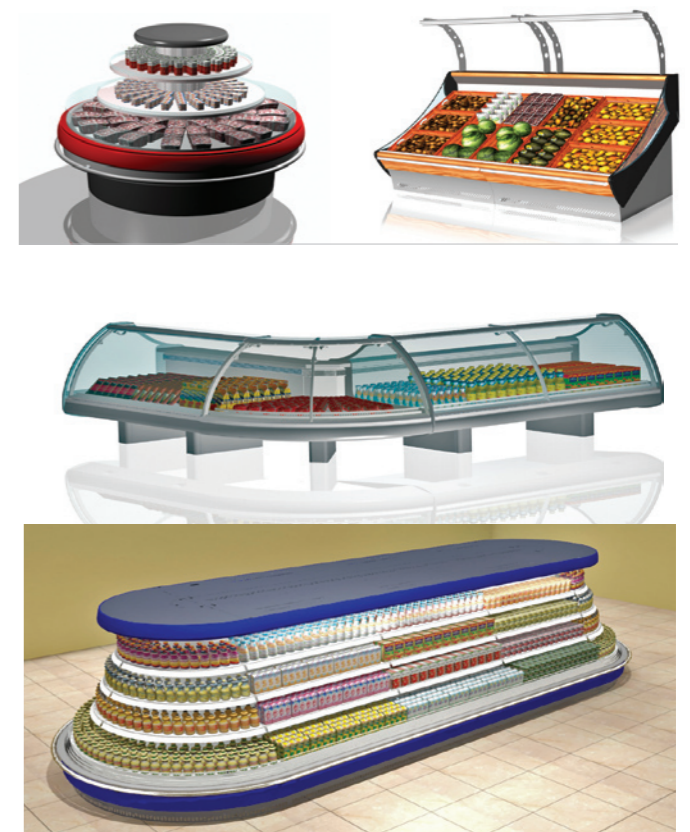
Frost-trol, S.A., avec plus de 50 ans d'existence, est une entreprise spécialisée dans la conception, la fabrication et la commercialisation de meubles réfrigérés pour la conservation de produits périssables. Au cours de ces dernières années, la société a développé une gamme complète de meubles frigorifiques dans sa catégorie frostCO₂ qui fonctionnent avec du CO₂ comme fluide réfrigérant. (V. Figure 12)

11



11. Imagen del laboratorio de pruebas para aplicaciones de CO₂ ubicado en las instalaciones de Frost-trol, S.A. Picture of the test laboratory for CO₂ applications at Frost-trol, S.A. Image du laboratoire d'essais pour les applications du CO₂, situé dans les installations de Frost-trol, S.A.

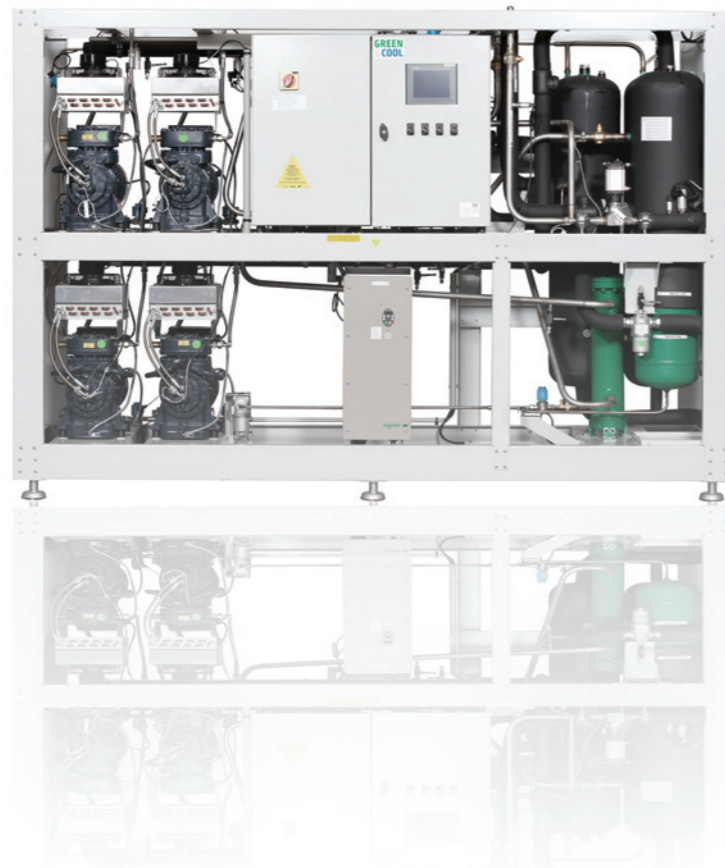
12



12. Imagen de diferentes expositores frigoríficos de la línea frostCO₂ Picture of several refrigerated display cabinets of the frostCO₂ line of products using CO₂ as a refrigerant | Image de différents types de meubles frigorifiques de la gamme frostCO₂



Central CO₂ de Green & Cool
Green & Cool CO₂ central pack
Centrale CO₂ de Green & Cool



GAMA DE PRODUCTOS | PRODUCT RANGE | GAMME DE PRODUITS

Air Conditioning Unit HT (high temp.)

Model	Type of Unit	Design temp.	(°C) Output
MISTRAL HT	Direct expansion on the evaporator/gas cooler/condenser side	+4/+32	10–220 kW
BREEZE HT	Direct expansion on the evaporator side with liquid cooled gas cooler/condenser	+4/+32	10–220 kW
ATLANTIC HT	Liquid chilled unit for air cooled gas cooler/condenser	+4/+32	10–220 kW
PASSAD HT AC	Direct expansion on evaporator side with air cooled gas cooler (AC)	+5 /+35	1,57–5,8 kW
PASSAD HT LC	Direct expansion on evaporator side with liquid cooled gas cooler (LC)	+5/+20	1,97–7.8 kW
SIROCCO HT	Low noise outdoor unit with air cooled gas cooler	+4/+32	10–135 kW
PACIFIC	Liquid chiller unit with liquid cooled gas cooler/condenser	+4/+32	10–220 kW

Refrigeration Unit MT (medium temp.)

Model	Type of Unit	Design temp.	(°C) Output
MISTRAL MT	Direct expansion on the evaporator/gas cooler/condenser side	-10/+32	6–125 kW
BREEZE MT	Direct expansion on the evaporator side with liquid cooled gas cooler/condenser	-10/+32	6–125 kW
ATLANTIC MT	Liquid chilled unit for air cooled gas cooler/condenser	-12/+32	6–125 kW
PASSAD MT AC	Direct expansion on evaporator side with air cooled gas cooler (AC)	-10/+35	0,88–3,5 kW
PASSAD MT LC	Direct expansion on evaporator side with liquid cooled gas cooler (LC)	-10/+20	1,15–4,6 kW
SIROCCO MT	Low noise outdoor unit with air cooled gas cooler	-10/+32	6–85 kW
BOTHNIA	Liquid chiller unit with liquid cooled gas cooler/condenser	-12/+32	6–125 kW

Freezer Unit LT (low temp.)

Model	Type of Unit	Design temp.	(°C) Output
MISTRAL LT	Direct expansion on the evaporator/gas cooler/condenser side	-37/+32	12–55 kW
BREEZE LT	Direct expansion on the evaporator side with liquid cooled gas cooler/condenser	-37/+32	12–55 kW
PASSAD LT AC	Direct expansion on evaporator side with air cooled gas cooler (AC)	-30/+35	0,37–1,48 kW
PASSAD LT LC	Direct expansion on evaporator side with liquid cooled gas cooler (LC)	-30/+20	0,48–1,92 kW
SIROCCO LT	Low noise outdoor unit with air cooled gas cooler	-37/+32	2–31,8 kW
ARCTIC	Liquid chiller unit for pump circulation freezer with liquid cooled gas cooler/condenser	-35/+32	3–60 kW
BALTIC	For cascade systems. Direct expansion on evaporator side. Secondary fluid on condenser side is connected to the evaporator side on glycol chiller MT	-37/+5	3–80 kW

Refrigeration unit/ freezer unit

Model	Type of Unit	Design temp. (°C) Refrig. MT-side	Design temp. (°C) Freezer	Output Refrigeration	Output Freezer
CRYSTAL CH	Combined refrigeration unit and freezer unit with liquid chilled evaporator on MT-side and direct expansion on LT-side. The unit is made for air cooled gas cooler (AC) or liquid cooled gas cooler (LC)	-12/+32	-37	10–110 kW	5–35 kW
CRYSTAL DX	Combined Refrigeration unit and freezer unit for direct expansion on evaporator side and gas cooler side	-10/+32	-37	10–110 kW	5–35 kW
SIROCCO MT/LT	Low noise outdoor unit with air cooled gas cooler	-10/+32	-37	6–85 kW	2–31,8 kW

GREEN & COOL • Handelsvägen 17, SE-973 45 Luleå, SWEDEN • Tel: + 46 920 - 24 54 50 • Fax: +46 920 - 24 54 58 • E-mail: co2@greenandcoolco2.com

We reserve the right to make modifications. Refrigeration outputs shown in the table are based on design temperatures. Some outputs are preliminary and should be determined in actual operational conditions as ambient temperature and water temperature will influence the output values.



11. Imágenes de un Supermercado trabajando con CO₂ con tecnología de Frost-trol, S.A. y Green & Cool. | 11. Pictures of supermarket running with Frost-trol, S.A. and Green & Cool CO₂ technology | 11. Images d'un supermarché fonctionnant avec du CO₂ avec la technologie de Frost-trol, S.A et de Green & Cool.



energy efficiency
ecology frost-trol



FROST-TROL, S.A.
Ctra. Valencia-Barcelona, KM. 68,9 | P.O. Box 55 - ES 12004
Castellón, Spain | Tel. (34) 964 342 740 | Fax (34) 964 215 148
frost-trol@frost-trol.com | www.frost-trol.com



Authorized User No. 00203



Nº: ES021123

FROST-TROL, S.A. participates in the ECC programme for:
REFRIGERATED DISPLAY CABINETS
Check ongoing validity of certificate online:
www.eurovent-certification.com or using www.certiflash.com