

# Technical Papers

36th Annual Meeting

International Institute of Ammonia Refrigeration

March 23–26, 2014

2014 Industrial Refrigeration Conference & Heavy Equipment Show  
Nashville, Tennessee

## **ACKNOWLEDGEMENT**

The success of the 36th Annual Meeting of the International Institute of Ammonia Refrigeration is due to the quality of the technical papers in this volume and the labor of its authors. IIAR expresses its deep appreciation to the authors, reviewers and editors for their contributions to the ammonia refrigeration industry.

## **ABOUT THIS VOLUME**

IIAR Technical Papers are subjected to rigorous technical peer review.

The views expressed in the papers in this volume are those of the authors, not the International Institute of Ammonia Refrigeration. They are not official positions of the Institute and are not officially endorsed.

International Institute of Ammonia Refrigeration

1001 North Fairfax Street

Suite 503

Alexandria, VA 22314

+ 1-703-312-4200 (voice)

+ 1-703-312-0065 (fax)

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

2014 Industrial Refrigeration Conference & Heavy Equipment Show

Nashville, Tennessee

## Trabajo técnico #5

# Una visión general de la experiencia obtenida en la aplicación de CO<sub>2</sub> en refrigeración de supermercados en Brasil

Alessandro da Silva  
São Paulo, Brasil

Marcos Euzebio  
Bitzer Compressores  
São Paulo, Brasil

### **Abstracto**

*Este artículo tiene como objetivo mostrar las experiencias obtenidas de la aplicación de CO<sub>2</sub> como refrigerante en Brasil, desde que se implementó hace cinco años por primera vez en un supermercado. El uso de CO<sub>2</sub> está ganando más fuerza y éxito en la sustitución de las instalaciones de R22 y R404A en refrigeración comercial de supermercados. Actualmente hay más de 30 supermercados brasileños que se adhieren al CO<sub>2</sub>. El uso de CO<sub>2</sub> significa una solución verde, sustentable y de mayor eficiencia energética. La tendencia es aumentar aún más la aplicación de CO<sub>2</sub> en Brasil, antes de la congelación de la producción de R22, que ha estado en vigor desde el 1 de enero de 2013 para los países del Artículo 5. Se comprobó que el impacto sobre el medio ambiente de los sistemas de cascada con CO<sub>2</sub> es bastante menor que los sistemas de expansión directa aplicados con los refrigerantes convencionales (R22 y R404A).*



## Introducción

El dióxido de carbono – CO<sub>2</sub> – es un refrigerante ecológico y 100% natural. Su concentración en la atmósfera es de aproximadamente 0,04% en volumen (400 ppm). El CO<sub>2</sub> obtenido como subproducto de los procesos de fermentación es una de las formas más puras disponibles, puede ser usado como refrigerante y es de bajo costo. Su potencial de destrucción de la capa de ozono (ODP) es cero y su potencial del calentamiento global es sólo una unidad (GWP = 1). Para el CO<sub>2</sub> no hay ninguna obligación de recuperarlo y reciclarlo, como lo que sucede con los refrigerantes sintéticos (R22, R404A, R507A, etc.) en caso de una intervención en el sistema de refrigeración. Por otra parte, el CO<sub>2</sub> ofrece una óptima eficiencia energética que incentiva al desarrollo de sistemas modernos y eco-eficientes que ponen a la industria de la refrigeración en una posición más sustentable.

Este trabajo tiene como objetivo principal analizar la evolución de la aplicación de CO<sub>2</sub> en Brasil, los beneficios reales obtenidos, los mitos y los hechos en torno a la aplicación de CO<sub>2</sub>, opciones de configuración para los sistemas CO<sub>2</sub> en cascada utilizados en los supermercados brasileños, la comparación del consumo energético de los sistemas de CO<sub>2</sub> subcríticos con el de los sistemas con R22 y R404A, y otros asuntos relevantes para su aplicación.

## Breve historia de la aplicación de CO<sub>2</sub> en la refrigeración

La aplicación de dióxido de carbono, R744 o CO<sub>2</sub>, no es nueva; pues fue inicialmente propuesto como refrigerante en 1850 a partir del estudio de la literatura de Alexander Twining. En principio, el CO<sub>2</sub> se utilizó en las máquinas fabricadoras de hielo en las embarcaciones (barcos) de alimentos congelados. Su uso en los sistemas de refrigeración aumentó entre los años 1920 y 1930. En esa época, el CO<sub>2</sub> era generalmente la opción preferida para los barcos, mientras que el R717 (amoníaco–NH<sub>3</sub>) se prefirió para las plantas estacionarias.

En 1960, la tecnología de refrigeración con CO<sub>2</sub> prácticamente desapareció del mercado con la aparición de “Freón”, fabricado por las industrias de DuPont, basada en los “refrigerantes seguros”, inicialmente con el R12 en el año 1929 y más tarde con el R22 y R502 para aplicaciones comerciales. Sin embargo, debido a las restricciones de uso impuestas a los refrigerantes sintéticos, la tecnología de refrigeración con CO<sub>2</sub> fue reinventada en 1993 por el científico noruego profesor Gustav Lorentzen, que propuso la aplicación de los sistemas de refrigeración con CO<sub>2</sub> subcrítico y transcrito. La Figura 1 muestra la línea de tiempo de la evolución de CO<sub>2</sub> y en la Figura 2 la referencia del profesor Gustav Lorentzen y un compresor de CO<sub>2</sub> antiguo.

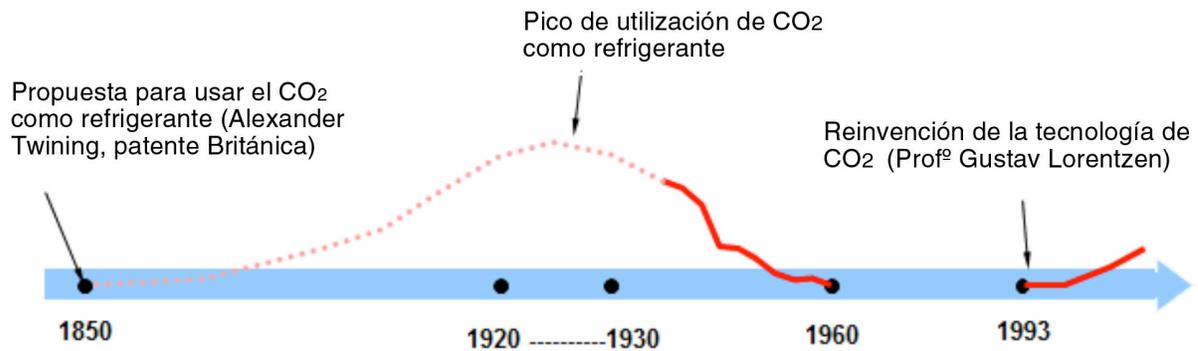


Figura 1: Línea de tiempo sobre la evolución de CO<sub>2</sub>



Figura 2a: Profesor Gustav Lorentzen: 1915-1995. Después de su muerte, cada dos años se realiza una conferencia internacional entre la comunidad científica, empresas y gobiernos para discutir los avances tecnológicos en el área de CO<sub>2</sub>. Esta conferencia recibe su nombre Gustav Lorentzen. (Cortesía SINTEF Technology and Society – Noruega)



Figura 2b: Compresor de CO<sub>2</sub>, año de fabricación 1897, capacidad de 4,5TR a -10/25°C, 90rpm. Trabajó en una industria de lácteos en Dinamarca desde 1897 a 1940

Figura 2: Profesor Gustav Lorentzen y compresor antiguo de CO<sub>2</sub>

## Evolución de la aplicación de CO<sub>2</sub> en Brasil

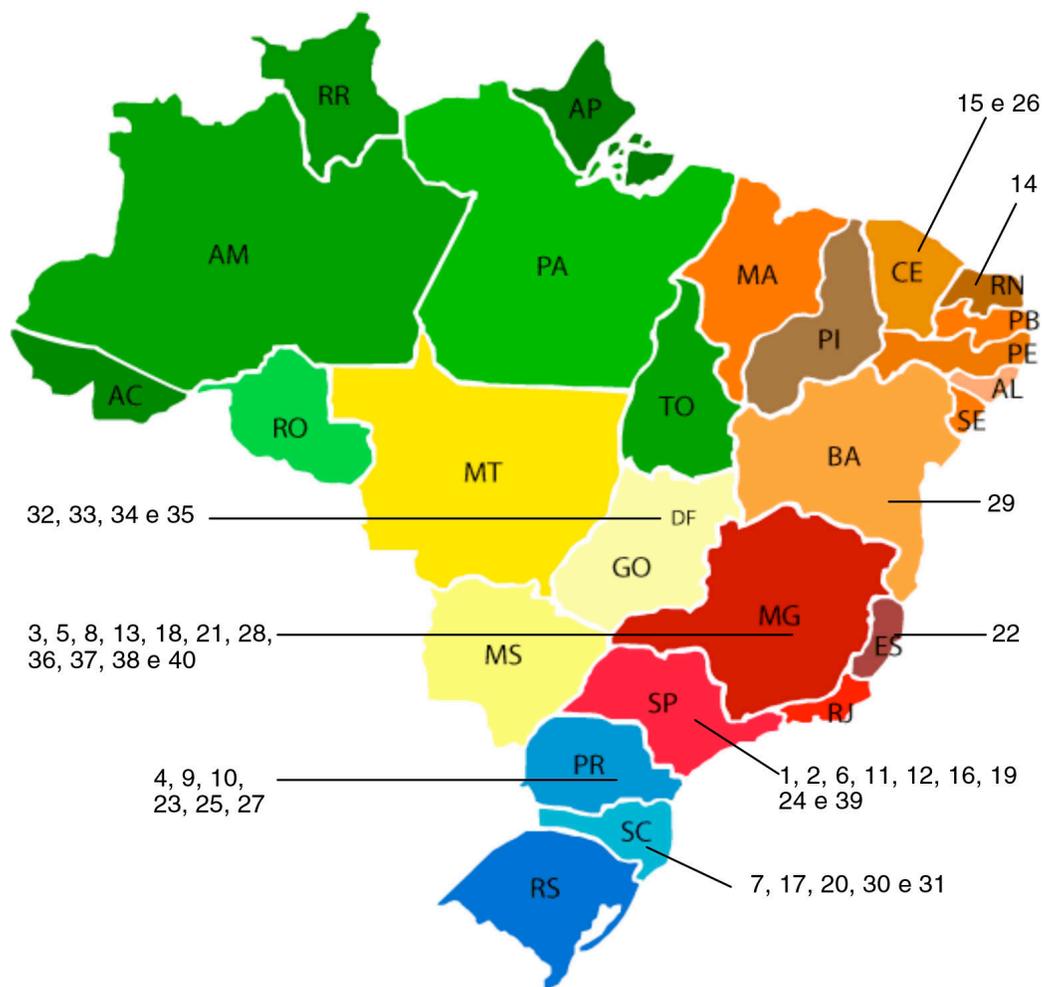
Es notoria la evolución de las aplicaciones de CO<sub>2</sub> en los supermercados brasileños. En los últimos años, las regiones Sur, Sudeste, Centro-Oeste y Nordeste ya cuentan con instalaciones funcionando a partir de este refrigerante natural y el número sigue creciendo. Desde 2009, cuando se produjo la primera aplicación de CO<sub>2</sub>, el interés creció. El uso de CO<sub>2</sub> está ganando más éxito y fuerza en la sustitución de R22 y R404A en las instalaciones de refrigeración comercial de supermercados. Actualmente son más de 30 supermercados brasileños que se adhieren al CO<sub>2</sub>.

Uno de los puntos clave que impulsaron al mercado brasileño a la tecnología de CO<sub>2</sub>, fue la iniciativa de algunas empresas fabricantes de compresores y componentes, sin medir esfuerzos, montaron centros de capacitación en CO<sub>2</sub> de excelencia, para ofrecer entrenamientos de alta calidad destinados al personal técnico de los fabricantes de equipos (OEMs), instaladores, usuarios finales (supermercados), etc. De esta forma,

los profesionales pueden ser previamente capacitados con la tecnología de CO<sub>2</sub> antes de iniciar los servicios de diseño, instalación, operación y mantenimiento de los equipos. Esta iniciativa ha sido y sigue siendo uno de los propulsores importantes del crecimiento de la aplicación de CO<sub>2</sub> en Brasil.

Otra cuestión importante, que impulsa aún más al usuario final para optar por la tecnología de CO<sub>2</sub>, se relaciona con su precio de compra en comparación con R22 o R404A. El precio promedio de CO<sub>2</sub> en Brasil es de USD 3,04/kg contra USD 30,43/Kg de R404A. Como ejemplo de esta comparación, si una tienda de tamaño mediano utiliza R404A y hubiera una pérdida total de la carga de refrigerante equivalente a 500 kg, la pérdida financiera tendría un valor de cerca de USD 15.215, mientras que si fuera con el CO<sub>2</sub>, esa pérdida sería USD 456,52. (La carga de CO<sub>2</sub> equivale aproximadamente a 1/3 de la carga de R404A).

Otro factor importante se refiere a las exigencias establecidas por el Protocolo de Montreal para la eliminación y reducción de los HCFCs a partir del 2013, donde la aplicación de CO<sub>2</sub> en refrigeración comercial de supermercados se está volviendo cada vez más común. Además, el aumento de las discusiones relativas al medio ambiente en la reducción de la capa de ozono -ODP- y el aumento de efecto invernadero -GWP-, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) ahora ocupa una posición destacada en este escenario. La Figura 3 muestra la distribución de las instalaciones de CO<sub>2</sub> en Brasil y en la Tabla 1 se muestran los detalles de estas instalaciones.



1. Centro Tecnología	16. Supermercado Pão Açúcar	31. Supermercado Imperatriz
2. Show Room	17. Supermercado Cooper Garcia	32. Supermercado Maia
3. Supermercado Verdemar (5ª tienda)	18. CD Apoio Mineiro	33. Supermercado Maia
4. Hipermercado Condor (33ª tienda)	19. Supermercado Tenda Atacado	34. Supermercado Maia
5. Supermercado Verdemar (6ª tienda)	20. Supermercado Zoni	35. Supermercado Maia
6. Centro Tecnología	21. Super ABC 21 Abril	36. Supermercado Apoio Mineiro
7. Supermercados Giassi	22. CD Extra Bom	37. Supermercado Apoio Mineiro
8. Centro Distribución Verdemar	23. Supermercado Angeloni	38. Supermercado Apoio Mineiro
9. Hipermercado Condor (34ª tienda)	24. Supermercado Tenda Atacado	39. Centro Tecnología
10. Hipermercado Condor (35ª tienda)	25. Hipermercado Condor (36ª tienda)	40. Laboratório Pesquisa UFU
11. Extra Hipermercado	26. Supermercado Compremax	
12. Supermercado Bon Netto	27. Supermercado Angeloni	
13. Supermercado Apoio Mineiro	28. Supermercado Apoio Mineiro	
14. Supermercado Nordesteão	29. Matadero Frigamar	
15. Supermercado Cometa	30. Supermercado Imperatriz	

Figura 3: Distribución de las instalaciones de CO<sub>2</sub> en Brasil (status abril de 2013)

Tipo de instalación	Ciudad / Estado	Fecha start-up	Área (m2)	Carga Térm. (kW)		Configuración Sistema	Evaporadores	Evaporadores	Etapa alta presión	
				LT	MT					
Centro Tecnología Show Room	Cotia / SP Cotia / SP	Oct. 2008 Abr. 2009	144 80	10	20	Subcrítico / cascada Subcrítico / cascada	CO2-DX CO2-DX	LT	MT CO2 - LR -	R404A R134a R134a
Supermercado Verdemar (5ª tienda)	Belo Horizonte / MG	Mar. 2010	1.800	36	200	Subcrítico / cascada	CO2-DX		Glicol	R134a
Hipermercado Condor (3ª tienda)	S. J. Pinhais / PR	Dec. 2011	6.300	52	235	Subcrítico / cascada	CO2-DX		Glicol	R134a
Supermercado Verdemar (6ª tienda)	Belo Horizonte / MG Cotia / SP	Dec. 2011 Abr. 2012	2.500 144	71	217	Subcrítico / cascada Transcrítico / booster	CO2-DX CO2-DX		Glicol CO2 - DX	R134a -
Supermercados Giassi	São José	Abr. 2012	4.200	76	337	Subcrítico / cascada	CO2-DX		Glicol	R404A
Centro Distribución Verdemar	Belo Horizonte / MG	May. 2012	10.000	100	300	Subcrítico / cascada	CO2-DX		Glicol	R134a
Hipermercado Condor (3ª tienda)	Pinhais / PR	Jun. 2012	5.500	48	338	Subcrítico / cascada	CO2-DX		Glicol	R134a
Hipermercado Condor (35ª tienda)	Campo Comprido / PR	Jul. 2012	4.000	35	175	Subcrítico / cascada	CO2-DX		Glicol	R134a
Extra Hipermercado – unidad 2005	Castelo Branco / SBC-SP	Ago. 2012	1.270	23	127	Subcrítico / cascada	CO2-DX		Glicol	R134a
Supermercado Bon Netto	Jaguariúna / SP	Sep. 2012	1.400	64	235	Subcrítico / cascada	CO2-DX		CO2 - LR	R134a
Supermercado Apoio Mineiro	Ribeirão das Neves / MG	Sep. 2012	4.200	54	184	Subcrítico / cascada	CO2-DX		Glicol	R134a
Supermercado Nortésio	Natal / RN	Nov. 2012	3.258	75	319	Subcrítico / cascada	CO2-DX		Glicol	R134a
Supermercado Cometa	Fortaleza / CE	Nov. 2012	3.700	34	128	Subcrítico / cascada	CO2-DX		CO2 - LR	R134a
Supermercado Pão Açúcar	Washington Luiz / SP	Nov. 2012	2.950	35	279	Subcrítico / cascada	CO2-DX		Glicol	R134a
Supermercado Cooper Garcia	Blumenau / SC	Nov. 2012	3.400	85	350	Subcrítico / cascada	CO2-DX		Glicol	R134a
Centro de distribución Apoio Mineiro	Belo Horizonte	Nov. 2012	2.000	136	207	Subcrítico / cascada	CO2-DX		Glicol	R134a
Supermercado Tenda Atacado	Sumaré / SP	Nov. 2012	4.000	48	353	Subcrítico / cascada	CO2-DX		Glicol	R134a
Supermercado Zoni	Caspar / SC	Dec. 2012	1.285	36	149	Subcrítico / cascada	CO2-DX		Glicol	R134a
Super ABC 21 Abril	Divinópolis / MG	Dec. 2012	2.300	30	152	Subcrítico / cascada	CO2-DX		Glicol	R134a
Centro de distribución Extra Bom	Vitória / ES	Dec. 2012	14.200	84	180	Subcrítico / cascada	CO2-DX		Glicol	R134a
Supermercado Angeloni	Londrina / PR	Dec. 2012	3.769	116	284	Subcrítico / cascada	CO2-DX		Glicol	R134a
Supermercado Tenda Atacado	Itanhaém / SP	Dec. 2012	3.500	62	293	Subcrítico / cascada	CO2-DX		Glicol	R134a
Hipermercado Condor (36ª tienda)	Paranaíba / PR	Dec. 2012	2.596	29	192	Subcrítico / cascada	CO2-DX		Glicol	R134a
Supermercado Compremax	Fortaleza / CE	Feb. 2013	1.400	25	67	Subcrítico / cascada	CO2-DX		CO2 - LR	R134a
Supermercado Angeloni	Maringá / PR	Feb. 2013	5.591	144	411	Subcrítico / cascada	CO2-DX		Glicol	R134a
Supermercado Apoio Mineiro	Sabará / MG	Abr. 2013	4.200	50	176	Subcrítico / cascada	CO2-DX		Glicol	R134a
Frigorífico Frigamar	Salvador / BA	Jun. 2013	10.000	127	306	Subcrítico / cascada	CO2-DX		CO2 - LR	R134a
Supermercado Imperatriz	Extreito / SC	Jul. 2013	3.000	75	175	Subcrítico / cascada	CO2-DX		Glicol	R134a
Supermercado Imperatriz	Jurete / SC	Ago. 2013	2.000	80	145	Subcrítico / cascada	CO2-DX		Glicol	R134a
Supermercado Maia	Asa Norte / Brasília	*2013	ND	ND	ND	Subcrítico / cascada	CO2-DX		ND	R134a
Supermercado Maia	Lago Sul / Brasília	*2013	ND	ND	ND	Subcrítico / cascada	CO2-DX		ND	R134a
Supermercado Maia	Sobradinho / Brasília	*2013	ND	ND	ND	Subcrítico / cascada	CO2-DX		ND	R134a
Supermercado Maia	Águas Claras / Brasília	*2013	ND	ND	ND	Subcrítico / cascada	CO2-DX		ND	R134a
Supermercado Apoio Mineiro	Renascença / MG	*2013	ND	ND	ND	Subcrítico / cascada	CO2-DX		Glicol	R134a
Supermercado Apoio Mineiro	Justimópolis / MG	*2013	ND	ND	ND	Subcrítico / cascada	CO2-DX		Glicol	R134a
Supermercado Apoio Mineiro	Santa Luzia / MG	*2013	ND	ND	ND	Subcrítico / cascada	CO2-DX		Glicol	R134a
Centro Tecnología	Campinas / SP	*2013	32	5	15	Subcrítico / Híbrido	CO2-DX		R134a	R134a
Laboratório Pesquisa UFU	Uberlândia / MG	*2013	50	5	-	Subcrítico / Cascada	CO2-DX		-	R134a

\*Previsto para puesta en marcha / ND = No definido todavía

## Los beneficios reales obtenidos por los usuarios brasileños

La disponibilidad de cursos y entrenamientos específicos para la tecnología de CO<sub>2</sub> ofrecidos en Brasil, el suministro de compresores proveniente de fabricación nacional, así como la difusión y el uso de válvulas de expansión electrónicas contribuirán para la viabilidad de los sistemas con CO<sub>2</sub>.

Todos los sistemas de CO<sub>2</sub> que están actualmente en operación en el país, fueron fabricados e instalados por empresas nacionales. Los principales beneficios ofrecidos a los usuarios son:

- La reducción de consumo de energía proporcionada por la tecnología de CO<sub>2</sub> (ver ítem 8);
- La rápida atención para reemplazo de compresores, repuestos y componentes individuales del sistema.
- La reducción del uso de los refrigerantes sintéticos que dañan la capa de ozono y el efecto invernadero, lo que representa una preocupación de los usuarios con la sustentabilidad;
- Sistemas más eficientes que tienen un impacto en la reducción de los costos operacionales;
- El bajo precio de compra de CO<sub>2</sub> y la reducción de la carga de refrigerante;
- Compresores y componentes más compactos;
- Tuberías con diámetros reducidos;
- Seguridad, simplicidad de operación y mantenimiento de bajo costo de los equipos con CO<sub>2</sub>.

La tecnología con CO<sub>2</sub> aplicada en Brasil se alinea con la tendencia mundial en la búsqueda de la sustentabilidad. La primera tienda inaugurada con CO<sub>2</sub> en el país en 2009 (supermercado Verdemar) sirvió como un ejemplo para el sector de supermercados con el objetivo de incentivar al segmento para adoptar sistemas que priorizan el cuidado del medio ambiente y la sustentabilidad. Además de los muchos

otros beneficios, ahorro de energía obtenido con la tecnología del CO<sub>2</sub> es citado por varias cadenas de supermercados adheridos al CO<sub>2</sub>.

Su aplicación en el país ha sido muy exitosa y aceptada sin ninguna restricción por todos los usuarios. Al principio no era más que una preocupación infundada en el sector en relación con varios mitos relacionados con la aplicación de CO<sub>2</sub>, hasta entonces desconocido por la mayoría de los profesionales.

De hecho, toda y cualquier introducción de nueva tecnología causa aprensión y miedo. Sin embargo, en la medida que más usuarios comenzaron a adherirse al uso de CO<sub>2</sub> en Brasil, muchos profesionales de la industria de HVAC-R dieron cuenta de que la tecnología de CO<sub>2</sub> no era tan diferente a los sistemas tradicionales.

Tenga en cuenta que las normas de seguridad y recomendaciones técnicas para los profesionales que intervienen con el diseño, instalación, operación y mantención se deben aplicar en cualquier tipo de sistema de refrigeración, independientemente del refrigerante que se utilizará.

## **Mitos y realidades sobre CO<sub>2</sub> encontrados en el mercado brasileño**

A continuación se abordarán “mitos y realidades” que implican la aplicación de CO<sub>2</sub>.

### *Sustentabilidad*

Mito: El CO<sub>2</sub> no es un refrigerante ecológico.

Hecho: El dióxido de carbono –CO<sub>2</sub>– es un refrigerante natural y respetuoso del medio ambiente del 100%, su concentración en la atmósfera es de aproximadamente 0,04% en volumen (400 ppm), es una fuente disponible en la atmósfera y es de bajo costo de adquisición. Su potencial de destrucción de la capa de ozono (ODP) es cero

y su potencial de calentamiento global es sólo una unidad (GWP = 1). Para el CO<sub>2</sub> no hay ninguna obligatoriedad de ser recuperado y reciclado como lo que sucede con los refrigerantes sintéticos (R22, R404A, R507A, etc.) en caso de una intervención en el sistema de refrigeración. Por otra parte, el CO<sub>2</sub> ofrece una óptima eficiencia energética que impulsa el desarrollo de sistemas modernos y eco-eficientes que sitúan la industria de la refrigeración en una base más sustentable.

### *Calentamiento Global*

Mito: El CO<sub>2</sub> es considerado un gas de efecto invernadero.

Hecho: El CO<sub>2</sub> tiene bajísimo potencial de calentamiento global (GWP), teniendo un valor de referencia entre los refrigerantes evaluados como uno. Los refrigerantes sintéticos llegan a ser aproximadamente 4.000 veces más poderosos como gases de efecto invernadero que el CO<sub>2</sub>; por ejemplo 1 kg de R404A lanzado a la atmósfera tiene un potencial de calentamiento global equivalente a 3.780 unidades de dióxido de carbono. Un único supermercado con HFC (R404A) tiene un GWP igual a 1.850 supermercados del mismo tamaño con CO<sub>2</sub>.

### *Eficiencia energética*

Mito: Los sistemas de CO<sub>2</sub> no son tan eficientes.

Hecho: Todos los sistemas existentes con CO<sub>2</sub> hasta ahora tuvieron un desempeño superior a los refrigerantes halogenados como R22, R404A, R507A, etc., principalmente en el área energética. Un sistema con CO<sub>2</sub> proyectado correctamente y basado en las mismas condiciones de aplicación tiene un rendimiento superior a los sistemas con R22 y R404A. Varias comparaciones de eficiencia energética entre el CO<sub>2</sub> versus R22 y R404A ya fueron realizadas y comprueban el elevado desempeño del dióxido de carbono. Además de eso, todos los supermercados aquí en Brasil que están utilizando el CO<sub>2</sub> como refrigerante, tales como el Verdemar, Condor, Giassi,

Extra, Apoio Mineiro, etc., están ahorrando energía eléctrica en comparación a los sistemas que utilizan refrigerantes tradicionales.

### *Capacidad frigorífica*

Mito: El CO<sub>2</sub> no tiene elevada capacidad de refrigeración.

Hecho: El CO<sub>2</sub> tiene alta capacidad volumétrica de refrigeración, comparada a los refrigerantes sintéticos, y dependiendo de las condiciones de aplicación llega a ser de 5 a 8 veces mayor que la R22, R404A o R507A, eso significa trabajar con compresores, componentes y tuberías de tamaños reducidos. Las dimensiones físicas y capacidades de los compresores de CO<sub>2</sub> son más pequeños comparados a los de capacidades similares con R22, R404A o R507A.

### *Características termodinámicas*

Mito: El CO<sub>2</sub> no es termodinámicamente eficiente.

Hecho: El CO<sub>2</sub> posee óptimas características para transferencia de calor, además de ser estable química y termodinámicamente. Posee una excelente miscibilidad con los aceites lubricantes, lo que facilita su separación y disminuye el arrastre al sistema, aumentando significativamente la transferencia de calor en los evaporadores y condensadores.

### *Costo*

Mito: Los sistemas con CO<sub>2</sub> cuestan más caros que los sistemas convencionales.

Hecho: Actualmente cuando se compara una instalación con CO<sub>2</sub> versus R22, R404A o R507A con los mismos tipos de controles electrónicos, por ejemplo: válvulas de expansión electrónica; controladores electrónicos; variadores de frecuencia, sistema

de supervisión, sistema de ecualización de aceite con reguladores de nivel de aceite electrónico y separador de aceite centrífugo (pulmón y separador), etc., básicamente no hay diferencia de costo inicial. Tuvimos recientemente algunos casos en Brasil que involucran la instalación de frío alimentario de supermercado en que no había diferencia en el precio de adquisición de los sistemas de refrigeración entre CO<sub>2</sub> versus R404A. Como los dos sistemas estaban siendo negociados con el mismo precio, el cliente final optó por la tecnología de CO<sub>2</sub> para su tienda. Aun habiendo diferencia de precio entre una instalación con CO<sub>2</sub> versus los sistemas tradicionales, el “pay back” (retorno de la inversión) de esa diferencia no pasará de 6 meses. A continuación, el restante de ahorro en energía también será un beneficio para el cliente final.

### *Seguridad*

Mito: El CO<sub>2</sub> no es seguro.

Hecho: Según la norma Ashrae 34-92 / EN 378-1 Anejo-E, el CO<sub>2</sub> es clasificado en la categoría de los refrigerantes más seguros denominada A1 (atóxico y no inflamable). Así como todos los refrigerantes, las normas de seguridad local y regional deben ser llevadas en consideración durante las etapas de proyecto, instalación, operación y mantenimiento de los sistemas con CO<sub>2</sub>. Actualmente, las buenas prácticas y cuidados desarrollados utilizados en los sistemas existentes de refrigeración con CO<sub>2</sub> en Brasil, se basan en la documentación internacional disponible a través de normas americanas y europeas. La comisión de estudios de refrigeración industrial – CE-55:001.04, del CB-55, de la ABNT (Asociación Brasileña de Normas Técnicas), desarrolló una norma brasileña sobre seguridad en sistemas de refrigeración, la NBR 16.069. La norma está basada en el ANSI/ASHRAE Estándar 15-2007 y utiliza las otras normas internacionales, como referencia para debate. La norma ya está liberada desde 2010. Además de eso, es importante y necesario que el equipo técnico de los OEMs, instaladores, clientes finales, etc., sea previamente capacitado

con la tecnología de CO<sub>2</sub> antes de iniciar los servicios de instalación, operación y mantenimiento.

### *Ambientes Calientes*

Mito: El CO<sub>2</sub> no puede ser aplicado en climas calientes.

Hecho: El CO<sub>2</sub> puede ser aplicado en climas calientes sin afectar su desempeño termodinámico y energético, principalmente en la condición subcrítica en cascada. Hay instalaciones frigoríficas con CO<sub>2</sub> en el Nordeste Brasileño, tales como: supermercado Cometa y Compemax en Fortaleza; supermercado Nordestão en Natal; Matadero Frigamar en Salvador y el Centro de Distribución de Extra Bom en Vitoria. Tales sistemas están configurados en cascada y utilizan el CO<sub>2</sub> como fluido refrigerante en el estado de baja presión con expansión directa, para atender los equipamientos de baja temperatura (cámaras e islas de congelados). Ya en los equipamientos de media temperatura algunas instalaciones usan el CO<sub>2</sub> o glicol como fluido de transferencia de calor en un circuito bombeado que circula en los expositores y cámaras de media temperatura. En el estado de alta presión se utiliza el R134a con carga de refrigerante muy reducida, actuando solamente en el enfriamiento del condensador de CO<sub>2</sub> en cascada.

### *Alta presión*

Mito: La presión de un sistema con CO<sub>2</sub> es muy alta.

Hecho: El CO<sub>2</sub> es un refrigerante de alta presión. Sin embargo, en la condición subcrítica los lados de alta y baja presión son similares a los sistemas con refrigerantes tradicionales, tales como la R410A. La mayoría de las instalaciones con CO<sub>2</sub> subcrítico y transcrito utilizan tubería de cobre basado en la norma ASTM B280. Solamente en la línea de descarga del sistema de CO<sub>2</sub> transcrito existe una presión más elevada que la de los refrigerantes convencionales. En este caso el

separador de aceite, la tubería de descarga y el condensador (*gas cooler*) deben ser diseñados para soportar alta presión.

### *Disponibilidad de los componentes para CO<sub>2</sub>*

Mito: Es muy difícil encontrar los componentes de refrigeración para CO<sub>2</sub>.

Hecho: Un fabricante nacional ofrece una línea completa de compresores y componentes para CO<sub>2</sub> subcrítico y transcrito. Además, posee piezas y asistencia técnica de fábrica. Otras empresas en el mercado brasileño también disponen una línea completa de componentes y controles electrónicos para CO<sub>2</sub>, tales como válvulas de expansión electrónicas, componentes frigoríficos, intercambiadores de calor, controladores de racks, sistema de supervisión, variadores de frecuencia, etc.

### *Complejidad*

Mito: Los sistemas de CO<sub>2</sub> son muy complejos.

Hecho: A través de la tecnología actualmente disponible, los proveedores de compresores, componentes y controles no tienen cualquier restricción técnica que impida la aplicación del CO<sub>2</sub> en el campo de la refrigeración comercial para supermercados. En cierto modo, el sistema de refrigeración con CO<sub>2</sub> es mecánicamente muy simple. Sin embargo, requiere un amplio conocimiento en cuanto a su comportamiento bajo ciertas condiciones. Es necesario capacitar a todos los involucrados sobre los asuntos de seguridad, diseño, instalación, operación y mantenimiento del sistema. Además, es necesario también seguir todas las normas de seguridad y las recomendaciones del fabricante para que el sistema pueda ser diseñado, instalado y operado con seguridad y confiabilidad con la satisfacción de todos. Hay empresas que ofrecen cursos y capacitación de CO<sub>2</sub> periódicamente con clases prácticas y teóricas en centros de tecnología de CO<sub>2</sub> en sus fábricas en São Paulo.

### *Comercialización del CO<sub>2</sub>*

Mito: CO<sub>2</sub> es difícil de encontrar.

Hecho: El CO<sub>2</sub>, por ser un refrigerante natural, se encuentra en todo el mundo con alta disponibilidad. En Brasil varias compañías comercializan el CO<sub>2</sub> en todo el territorio nacional. El CO<sub>2</sub> es suministrado en cilindros que van desde 25 hasta 45 Kg a grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, también se pueden suministrar en mini tanques equipados con bombas de líquido que pueden ser conectadas directamente al sistema.

### *Ciclos de operación con CO<sub>2</sub> y sus características*

El diagrama de presión y entalpía de CO<sub>2</sub> en la Figura 4 muestra los trazos de los dos ciclos de los sistemas a menudo discutidos con respecto a las instalaciones de CO<sub>2</sub>. Estos dos ciclos representan el ciclo de refrigeración convencional subcrítico y de alta presión transcrito.

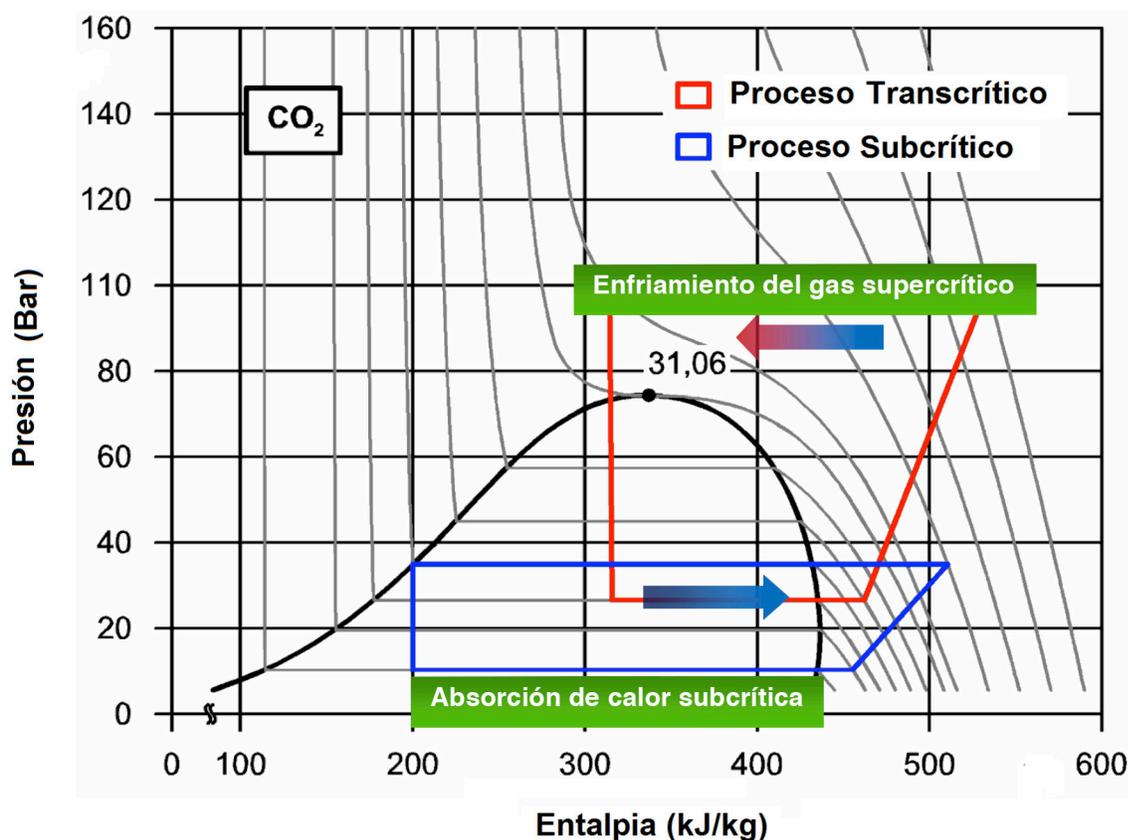


Figura 4: Ciclo básico de compresión de simple etapa de CO<sub>2</sub> subcrítico y transcrito

En el ciclo transcrito, el CO<sub>2</sub> es comprimido por el compresor a una gran presión que se encuentra por encima del punto crítico del refrigerante. Dado que la presión está por encima del punto crítico, el refrigerante ya no puede ser condensado; sólo se enfriará.

No hay condensador en este ciclo, el intercambiador de calor utilizado en la descarga se denomina “gas cooler” (enfriador de gas). Las presiones de operación del lado de alta son muy elevadas, entre 80 y 140 bar y requieren compresores y accesorios especialmente contruidos para alta presión.

La presión del lado de baja puede ser elevada y alcanzar 70 bar –lo que dependerá de la aplicación–, y también requiere componentes especialmente diseñados. Varios fabricantes europeos ya están trabajando con este sistema de CO<sub>2</sub> transcrito y numerosas aplicaciones de refrigeración comercial e industrial están funcionando ya en Europa, Australia, Canadá, Estados Unidos, etc.

Según la encuesta realizada por Shecco publications en 2012, se estima que solamente en Europa hay aproximadamente 1.600 instalaciones de CO<sub>2</sub> transcrito (status diciembre de 2011). Desde abril de 2012 está funcionando en Brasil el primer sistema de CO<sub>2</sub> transcrito en América Latina instalado en un centro de tecnología y capacitación en el estado de São Paulo. La Figura 5 muestra el diagrama simplificado del sistema y la Figura 6 ilustra la instalación de los equipos.

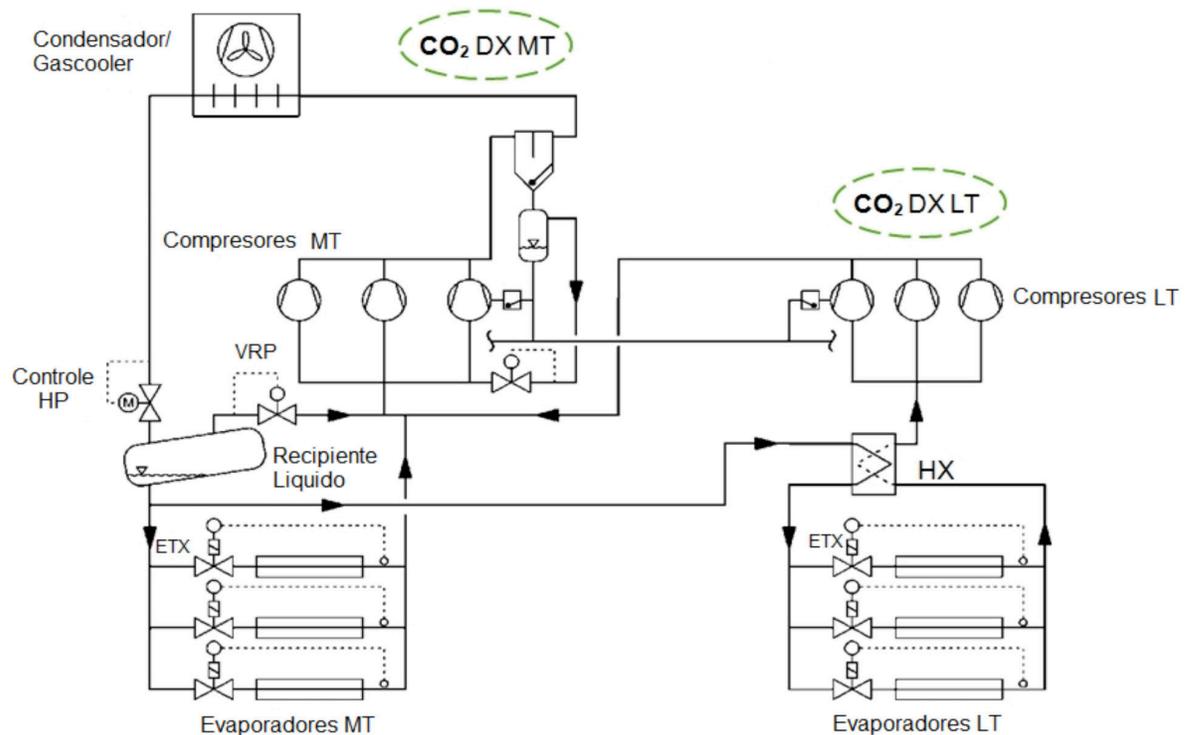


Figura 5: Diagrama simplificado del primer sistema de refrigeración con CO<sub>2</sub> transcrito instalado en Brasil



Figura 6: Rack de CO<sub>2</sub> transcrito instalado en Brasil

El ciclo subcrítico se utiliza en la mayoría de las aplicaciones comerciales e industriales, principalmente en los sistemas de refrigeración de supermercados alrededor del mundo. La única diferencia entre este ciclo y el transcrito son las características del CO<sub>2</sub>. Las presiones de operación son mucho mayores que la de muchos refrigerantes tradicionales cuando se utiliza en sistemas de simple etapa, pero la relación de presión en el compresor es más pequeña que los de otros refrigerantes. Las altas presiones de operación son superadas instalando los sistemas de CO<sub>2</sub> en sistemas de dos etapas en una aplicación llamada sistema en cascada. La Figura 7 muestra un ejemplo simplificado del sistema

en cascada con CO<sub>2</sub> en estado de baja y R134a en etapa de alta presión; esta configuración recibe el nombre de sistema “híbrido”.

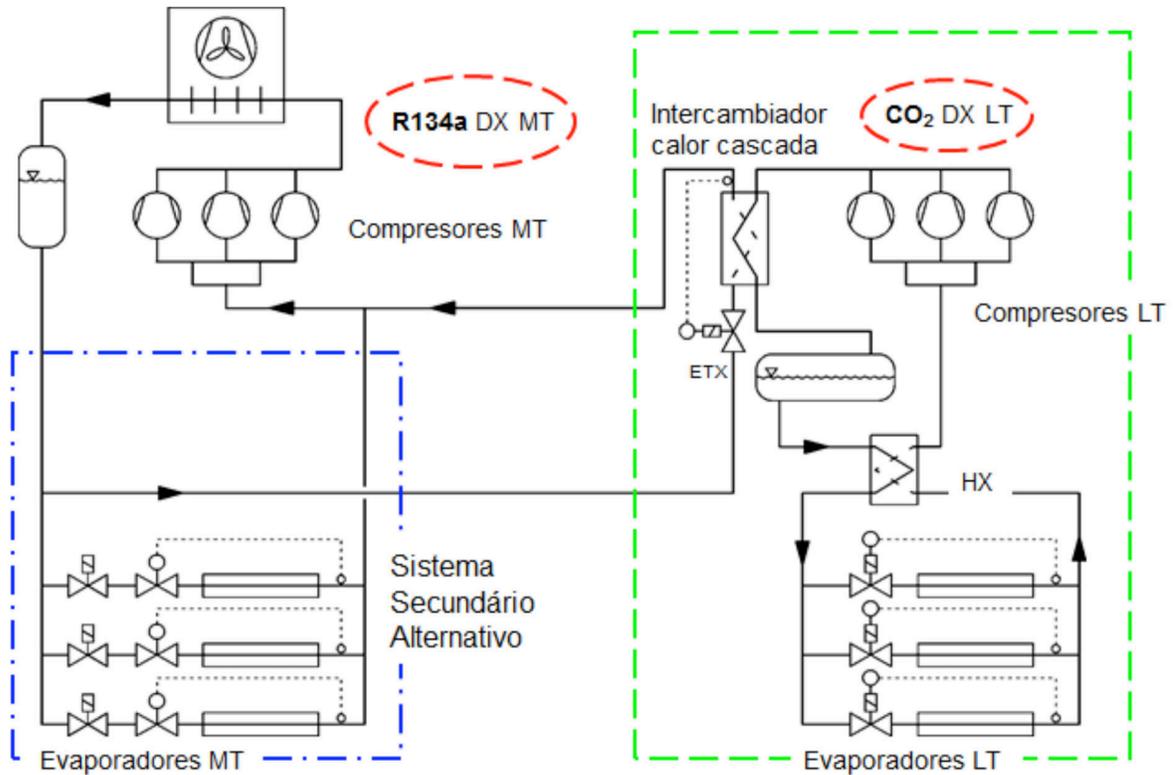


Figura 7: Ejemplo simplificado de sistema “híbrido” con CO<sub>2</sub> e R134a utilizados en sistemas de refrigeración de supermercados

El principio básico de operación de los sistemas en cascada es que cada refrigerante tiene un rango de operación, presión y temperatura en la cual son idealmente convenientes. Si el refrigerante puede aplicarse dentro de ese rango de operación, el sistema puede operar más eficientemente. Como ningún refrigerante tiene un rango de operación ideal que se extiende desde la baja temperatura de evaporación hasta la temperatura de condensación con aire ambiente, aplicando dos diferentes refrigerantes permite que estos refrigerantes se utilicen en el mejor rango de aplicación, que a su vez mejora la eficiencia de todo el sistema. Los refrigerantes típicamente elegidos para el circuito de alta temperatura de los sistemas en cascada en general son: R507A, R717, R404A, R134a u otros adecuados.

En los sistemas de refrigeración en cascada encontrados en supermercados brasileños, el CO<sub>2</sub> se utiliza simultáneamente como un refrigerante de expansión seca (DX) en secciones de baja temperatura y como un fluido bifásico bombeado – conocido como sistema de recirculación de líquido– utilizado en secciones de media y alta temperatura. Algunas instalaciones de supermercado usan CO<sub>2</sub> sólo en el lado de baja temperatura y otro fluido que circula en el lado de media y alta temperatura, tales como glicol.

La eficiencia volumétrica de los compresores en un sistema con CO<sub>2</sub> es mucho más alta comparada con los sistemas tradicionales, resultando en compresores con un volumen desplazado relativamente menor, equipados con el motor del mismo tamaño para la misma capacidad. Típicamente los diámetros de tubería de CO<sub>2</sub> son relativamente menores en comparación con los sistemas tradicionales. Los espesores de pared de la tubería, recipientes a presión y componentes de alta son un poco más gruesos de lo normal, ya que están obligados a cumplir con las normas ASTM B280 y ABNT 16.069 o normas similares a las tuberías y recipientes de alta presión. Los componentes diseñados para operaciones con R410A son generalmente convenientes para el uso en ciclos subcríticos con CO<sub>2</sub>, porque cumplen con estas normas.

## **Opciones de configuración de sistemas de CO<sub>2</sub> en cascada utilizados en los supermercados brasileños**

Los sistemas de CO<sub>2</sub> en cascada tienen diferentes configuraciones, algunas son las preferidas por parte de los fabricantes, mientras que otras no lo son debido a la complejidad del proyecto y el tipo de control requerido. A continuación se abordarán algunos ejemplos que se utilizan en los supermercados brasileños.

*Sistema en Cascada con CO<sub>2</sub> / R134a (MT con glicol y LT con CO<sub>2</sub>-DX),  
“low condensing”*

Este es uno de los sistemas más utilizados en los supermercados brasileños. El sistema está configurado en cascada y utiliza CO<sub>2</sub> como fluido refrigerante en la etapa de baja presión (subcrítico) con expansión directa -DX- para satisfacer el equipo de congelados -LT- (cuartos fríos e islas de congelados). Ya en los equipos de media temperatura -MT-, el glicol es utilizado como un fluido de transferencia de calor en un circuito bombeado que circula en los condensadores cascada de CO<sub>2</sub> y también en los expositores y cuartos fríos de media temperatura. En la etapa de alta presión se utiliza el R134a con muy baja carga de refrigerante, actuando solamente en el enfriamiento del glicol. Podemos mencionar como las principales ventajas de este sistema el ahorro de energía, la reducción de la carga de refrigerante (CO<sub>2</sub>/R134a), la reducción del tamaño de los compresores y diámetros de tubería de baja temperatura con CO<sub>2</sub>, y el bajo costo de mantenimiento y operación. Según el fabricante que optó por este sistema, la reducción del consumo de energía eléctrica frente a los sistemas tradicionales (R22 y R404A) de la misma carga térmica puede ser superior al 20% a favor del CO<sub>2</sub>. La Figura 8 muestra un ejemplo simplificado del sistema en cascada de CO<sub>2</sub>/R134a – “low condensing” (baja condensación) así como las Figuras 9, 10, 11 y 12 muestran ejemplos de este tipo de equipos.

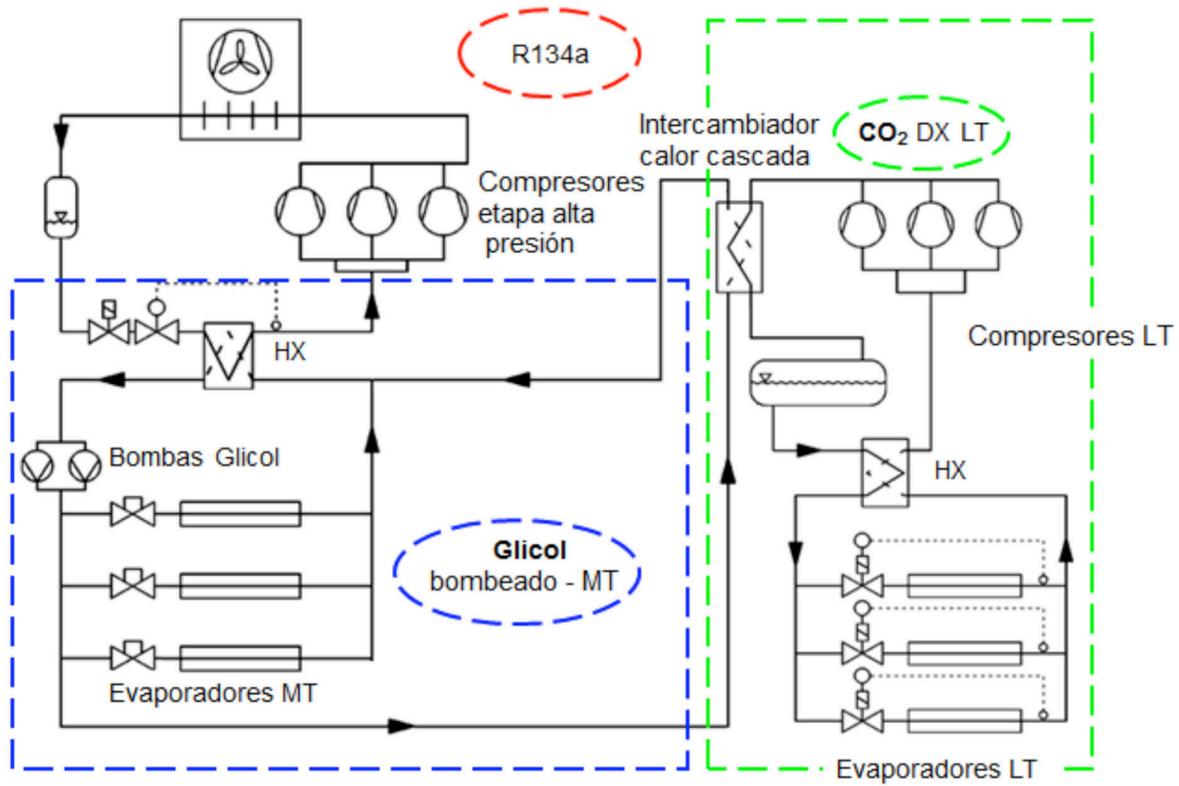


Figura 8: Ejemplo simplificado de sistema cascada CO<sub>2</sub> / R134a - low condensing



Figura 9: Sistema de bombeo con glicol



Figura 10: Racks de etapa de alta presión con R134a



Figura 11: Rack subcrítico con CO<sub>2</sub>, condensación hecha con glicol



Figura 12: Expositor e islas de baja temperatura que operan con CO<sub>2</sub>

*Sistema en Cascada con CO<sub>2</sub> / R134a (MT con CO<sub>2</sub> recirculado y LT con CO<sub>2</sub> – DX)– “sistema combinado”*

Este sistema es elegido por algunas empresas nacionales. El diagrama en la Figura 13 muestra la etapa de baja con CO<sub>2</sub>, que incluye un circuito de baja temperatura–LT con expansión directa –DX– y un circuito de media temperatura –MT– con recirculación de líquido –RL–. El calor de ambos sistemas es transferido a la etapa de alta presión a través de un intercambiador de calor de placas y luego transferido al condensador enfriado por aire a través del sistema con R134a. Este tipo de arreglo permite que la mayor parte del volumen de refrigerante permanezca en la etapa de baja presión con CO<sub>2</sub> y no en la etapa de alta con R134a.

En los supermercados brasileños que utilizan este sistema, se observa que la carga de refrigerante en la etapa de baja es alrededor de 300 kg o un poco más, mientras que en la etapa de alta con R134a es alrededor de 150 kg. Una de las principales ventajas de este sistema con CO<sub>2</sub> es el ahorro de energía; según los fabricantes nacionales de este sistema, el ahorro supera el 20% en comparación con los sistemas tradicionales

con R22 o R404A. También hay una reducción significativa en el tamaño de los compresores y diámetros de la tubería con CO<sub>2</sub> para baja temperatura, y un menor costo de mantenimiento y operación.

Otro hecho importante de este sistema es el tamaño reducido de diámetros de tubería en los evaporadores (cuartos fríos y neveras exhibidoras) del sistema de media temperatura -MT- que funciona con CO<sub>2</sub> recirculado -RL-. El tiempo de enfriamiento (*pull-down*) también es menor comparado con los sistemas tradicionales, ya que en este caso los evaporadores de MT se inundan y aprovechan mejor la transferencia de calor del CO<sub>2</sub>. Las Figuras 14 y 15 muestran ejemplos de este tipo de equipo.

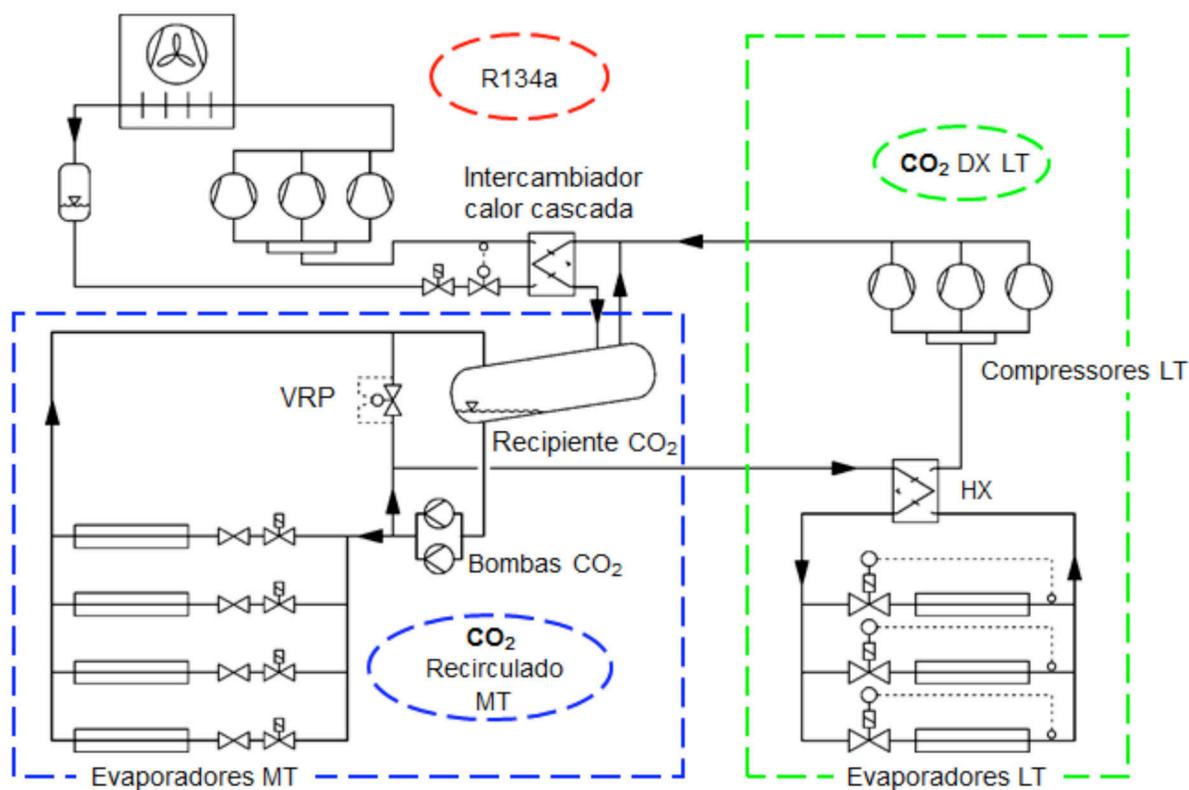


Figura 13: Ejemplo simplificado de sistema cascada CO<sub>2</sub> / R134a – “Combinado”



Figura 14: Rack subcrítico con CO<sub>2</sub> combinado, DX-LT e Recirc.-MT



Figura 15: Rack de la etapa de alta presión con R134a

*Sistema en Cascada con CO<sub>2</sub> / R134a para LT y sistema R134a / glicol para MT – “sistemas separados”*

Es un sistema de refrigeración en cascada que utiliza CO<sub>2</sub> como fluido refrigerante en etapa de baja presión con expansión directa para atender los equipos de baja temperatura (cuartos fríos e islas de congelados). La etapa de alta presión se realiza con R134a mediante un rack de refrigeración separado del sistema de MT. Ya en los equipos de media temperatura, el glicol es utilizado como fluido de transferencia de calor en un circuito de bombeo que circula en los expositores y cámaras de media temperatura; en la etapa primaria (*chiller*), también se utiliza el R134a con muy baja carga de refrigerante. Este sistema es uno de los elegidos por algunas empresas brasileñas que trabajan en el desarrollo y comercialización de sistemas de refrigeración para supermercados y también para el sector industrial.

La gran ventaja de este sistema es el ahorro de energía. Otras ventajas incluyen la reducción de la carga de refrigerante, la simplicidad de instalación, los bajos costos de operación, el fácil mantenimiento y operación, y sistemas de congelados y de media temperatura independientes uno del otro. Todo el sistema se concentra en un “rack house” (cuarto de racks) climatizado y con aislamiento acústico, siendo una sala de máquinas que permite al propietario del supermercado reducir el valor del impuesto pagado por área construida, ya que centraliza las funciones operativas del sistema de refrigeración. Además, facilita el traslado del sistema en caso de una mudanza, ya que el cuarto de racks es un sistema transportable cómodamente. La Figura 16 muestra un ejemplo simplificado de este tipo de sistema.

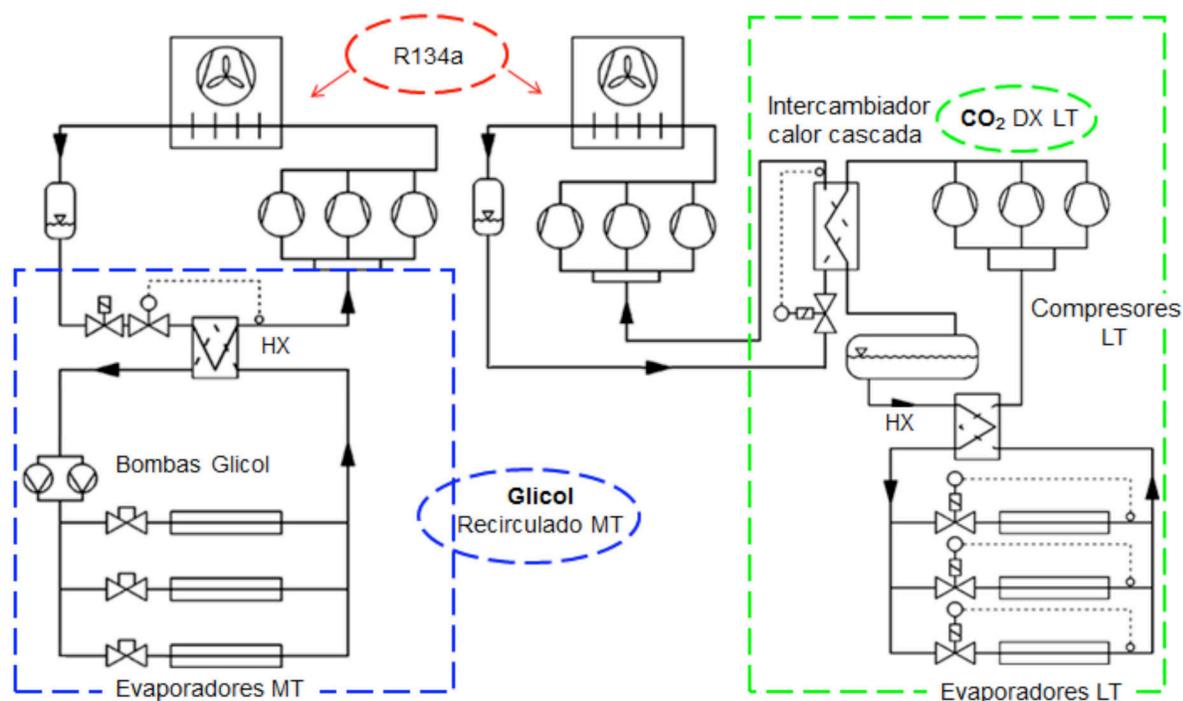


Figura 16: Ejemplo simplificado de sistema cascada con CO<sub>2</sub> / R134a para LT y sistema R134a / glicol para MT – “sistemas separados”

Las Figuras 17 y 18 muestran ejemplos de este tipo de sistema aplicado en supermercados y también en centros de distribución de alimentos.



Figura 17: "Rack-house" con CO<sub>2</sub> / R134a subcrítico



Figura 18: Detalle de montaje de los compresores de CO<sub>2</sub>

### *Comparación de consumo de energía eléctrica entre los sistemas de CO<sub>2</sub> subcríticos versus los sistemas con R22 y R404A*

A continuación se presentan los resultados referentes al consumo de energía entre los sistemas de CO<sub>2</sub> subcríticos versus los sistemas tradicionales con R22 y R404A. En el primer caso se realizan comparaciones de consumo de energía realizados en un centro de tecnología y capacitación, donde están instalados cuatro sistemas, a saber: rack transcrito de CO<sub>2</sub>, rack subcrítico de CO<sub>2</sub>/R404A, un rack de R22 y otro de R404A; todos los racks poseen instrumentación completa y son capaces de captar el consumo total de energía de todo el sistema.

En este trabajo será excluida la comparación energética del rack transcrito de CO<sub>2</sub>, por el hecho de que todavía esté bajo análisis. La potencia consumida fue registrada en intervalos de 15 minutos para la planta en funcionamiento e incluye todos los aspectos del sistema: los motores de los compresores, los calentadores del

cárter, motores de ventiladores, las resistencias de deshielo, los ventiladores de los evaporadores y así sucesivamente.

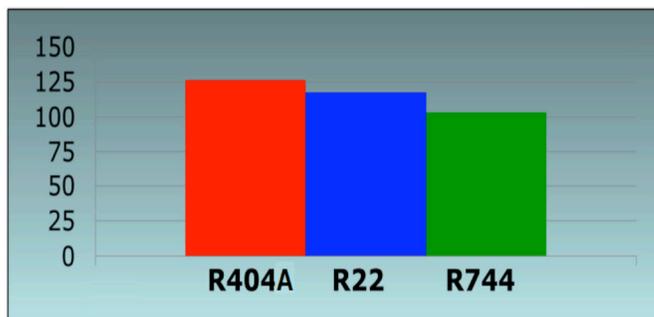
Se realizaron comparaciones de eficiencia energética medidas en un tiempo de funcionamiento durante todo el año, donde la temperatura de condensación se mantuvo en 38°C. Esta medición fue realizada entre 2009 y 2012. Las cargas térmicas entre los sistemas fueron fijadas igualmente, es decir: sistema de media temperatura (MT) -10/38°C con 20 kW y sistema de baja temperatura (LT) -30/38°C con 10 kW. La Figura 19 muestra los equipos evaluados y las Tablas 2 y 3 presentan los resultados del análisis energético.



Figura 19: Detalle de los equipos evaluados energéticamente

Sistema subcrítico de CO <sub>2</sub> (R744)	103.234
Sistema de R404A	126.295
Sistema de R22	117.435

Tabla 2: Comparación de consumo energético anual entre el sistema combinado de CO<sub>2</sub> LT-DX y MT-RL versus los sistemas tradicionales con R22 y R404A [kWh]



Diferencia [%]: CO<sub>2</sub> vs. R404A..... 22,30

CO<sub>2</sub> vs. R22..... 13,75

Tabla 3: Análisis de Resultados

En el segundo caso se presentan los resultados de la comparación del consumo energético realizados en el campo en el período de julio de 2012 / agosto de 2013 en dos supermercados en el estado de Paraná. Las cargas térmicas son similares y se basan en las mismas condiciones de aplicación y la misma configuración del sistema (ver Figura 8). El único cambio fue el refrigerante en baja temperatura para los cuartos fríos y las islas de congelados con CO<sub>2</sub>/R744. La Tabla 4 muestra el resultado de la comparación energética.

Supermercado en São José dos Pinhais (SJP):

Media Temperatura (MT): 304,68 kW, glicol a -10°C / 45°C

Congelados (LT): 51,47 kW, CO<sub>2</sub> (R744) a -30°C / 1°C

Supermercado en Curitiba:

Media Temperatura (MT): 305,13 kW, glicol a -10°C / 45°C

Congelados (LT): 48,86 kW, R404A a -30°C / 8°C

Supermercado	SJP	Curitiba
Rack MT + bombas + expositores	61.909	83.890
Rack LT + Islas + cámaras de congelados	26.609	29.893
TOTAL	88.518	113.783

Tabla 4: Análisis de los resultados de consumo energético entre tiendas de Supermercados evaluados [kWh]

Para los sistemas de congelados (LT) se obtuvo una reducción de consumo energético de 11,25%, el ahorro total fue de 22,26% a favor del sistema con CO<sub>2</sub>.

## Conclusiones

Este trabajo demostró que el CO<sub>2</sub> está ganando cada vez más fuerza y aplicabilidad en el mercado brasileño. Ocurrió un cambio de cultura en el cual mitos, barreras y actitudes han sido superados en favor de la tecnología de CO<sub>2</sub>. Su desempeño energético superior a los refrigerantes tradicionales (R22 y R404A) en aplicaciones en cascada fue comprobado en Brasil. Las características ecológicas del refrigerante CO<sub>2</sub> son ejemplos para reducir los efectos directos e indirectos del calentamiento global; por lo tanto, es una solución sustentable para el sector de la refrigeración.

## Referencias

1. Manuales y catálogos técnicos de Eletrofrio, Arneg e Plotter-Racks.
2. Silva, Alessandro et al.–Energy Efficiency Comparison of the CO<sub>2</sub> Cascade and the R404A and R22 Conventional System for Supermarkets–9th IIR Gustav Lorentzen Conference 2010, Sydney, Australia.
3. Silva, Alessandro. Dióxido de carbono – CO<sub>2</sub> en sistemas de refrigeración comercial e industrial, Editora Nova Técnica – vol. 01.
4. Silva, Alessandro. Aplicaciones de CO<sub>2</sub> en el sector de refrigeración comercial para supermercados – Uso de fluidos naturales en sistemas de refrigeración y aire acondicionado – Ministerio del Medio Ambiente – MMA, Publicación Técnica, pág. 129 – 153, 2008.
5. Guide Shecco publications 2012: Natural Refrigerants Market Growth for Europe / Case Studies–www.r744.com.
6. R744–Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) Applications and Systems Servicing, Reference Manual, Australia TAFENSW, primera edición, mayo de 2006.
7. Natural Refrigerant CO<sub>2</sub>, Education and Culture Lifelong Learning Programme Leonardo da Vinci, editado por Walter Reulens, octubre de 2009.
8. Programa brasileño de eliminación de los HCFCs: [www.protocolodemontreal.org.br](http://www.protocolodemontreal.org.br)
9. Coolpack software: <http://www.et.dtu.dk/CoolPack>.