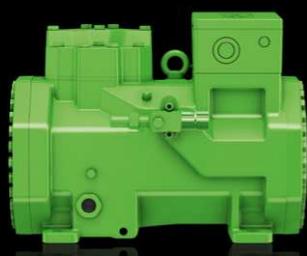


Introdução a sistemas de refrigeração com CO₂



24.03.2020

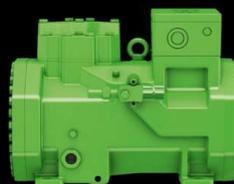


Sistemas de Refrigeração com CO₂

O presente conteúdo tem por objetivo apresentar pontos básicos para a compreensão de sistemas de refrigeração aplicados com o fluido refrigerante R-744 (CO₂).

O conteúdo é desenvolvido inicialmente traçando o panorama atual dos fluidos refrigerantes disponíveis, e em seguida aponta características comparativas entre sistemas aplicados com o fluido CO₂ em regime SUBCRÍTICO e TRANSCRÍTICO.

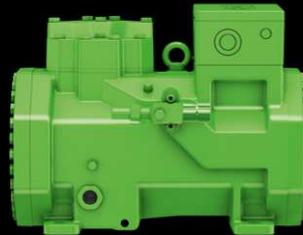
A parte final conduz a detalhes de sistemas convencionais cascata subcríticos por serem o grande panorama de instalações no Brasil, ao redor de 400.



Sistemas de Refrigeração com CO₂

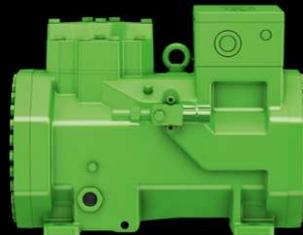
Este conteúdo não substitui um treinamento prático, indispensável, mas tem caráter introdutório que busca clarear pontos distintos de sistemas com CO₂ quando comparados à sistemas tradicionais com fluidos refrigerantes Halogenados.

O conteúdo é livre, e buscaremos em sistemática combinada complementar as questões que venham a surgir, individuais ou por grupo, através de vídeos explicativos.



"Na longa história da humanidade aqueles que aprenderam a colaborar e improvisar de forma mais eficaz prevaleceram. Não é a mais forte das espécies e nem a mais inteligente que sobrevive. É a mais adaptável à mudança."

*Charles Darwin
(1809 – 1882, Naturalista Inglês)*



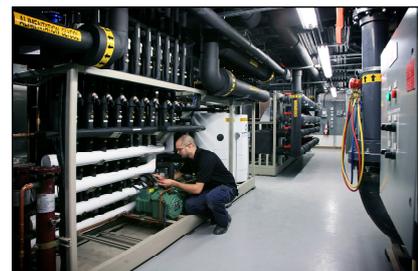
Sistemas de Refrigeração com CO₂

1. Breve histórico de Fluidos Refrigerantes
2. Características do CO₂ (R744)
3. Sistemas Subcríticos
4. Componentes comuns
5. Segurança



Breve histórico de fluidos refrigerantes Soluções técnicas e desafios

- / Elevadas taxas de vazamentos de fluidos refrigerantes e a constante preocupação com melhores índices de eficiência energética colocam permanentemente os segmentos de refrigeração e climatização no centro das atenções dos gestores ambientais e de projetos há vários anos.
- / Observamos atualmente uma intensa busca por opções de menor impacto ambiental associadas a equipamentos mais eficientes e inteligentes, soluções técnicas que atendam as rigorosas legislações que estão sendo aprovadas ao redor do mundo.
- / Essa implementação tem resultado grande impacto na indústria, comércio e serviços de refrigeração. A atualização profissional apresenta-se fundamental.



Breve histórico de fluidos refrigerantes

Soluções técnicas e desafios

As razões para a substituição de fluidos refrigerantes sintéticos em favor dos refrigerantes de menor impacto ambiental, especialmente os refrigerantes naturais, são:

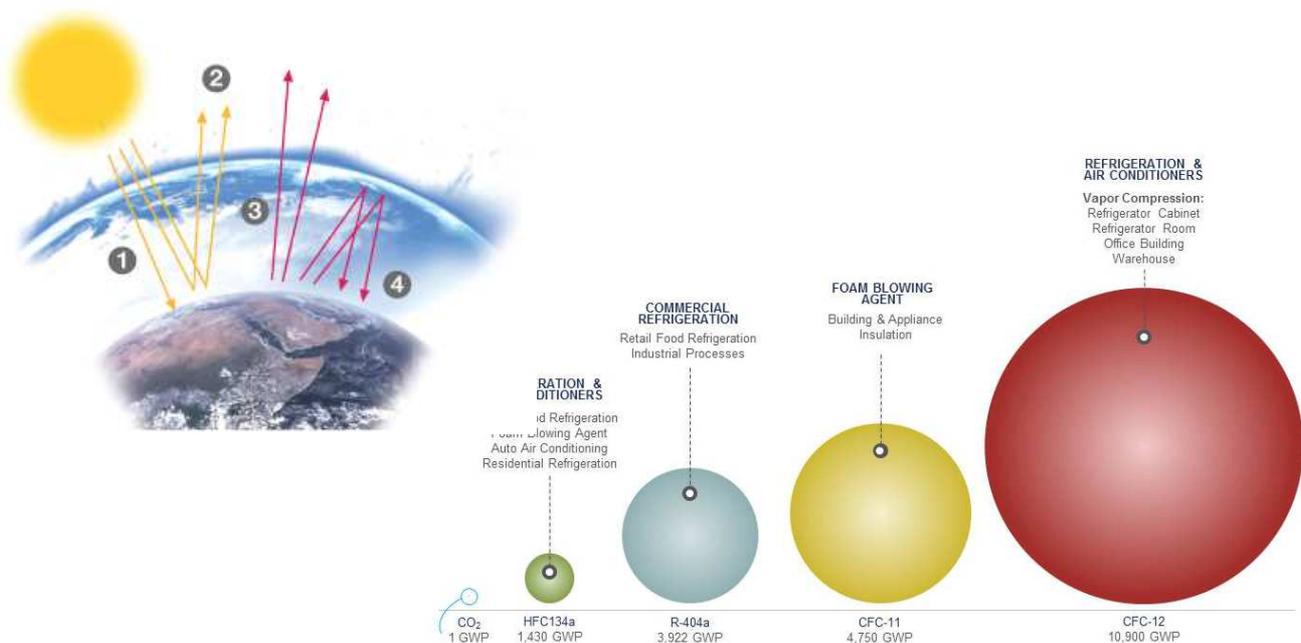
- Eliminar os refrigerantes que destroem a **Camada de Ozônio**
Exemplo: R-22 (Contém Cloro - HCFC), R141b
- Eliminar os refrigerantes que contribuem para o **Aquecimento Global** (Efeito Estufa)
Exemplo: R404A (HFC), R507A, etc.

GWP (Global Warming Potential) Potencial de Aquecimento Global – é um índice que permite comparar a absorção de energia de diferentes gases de efeito estufa em um determinado período de tempo. A referência aplicada é o CO₂ (GWP=1).

HCFC = HIDROCLOROFLUORCARBONOS
HFC = HIDROFLUORCARBONOS



Potencial de Aquecimento Global (GWP)

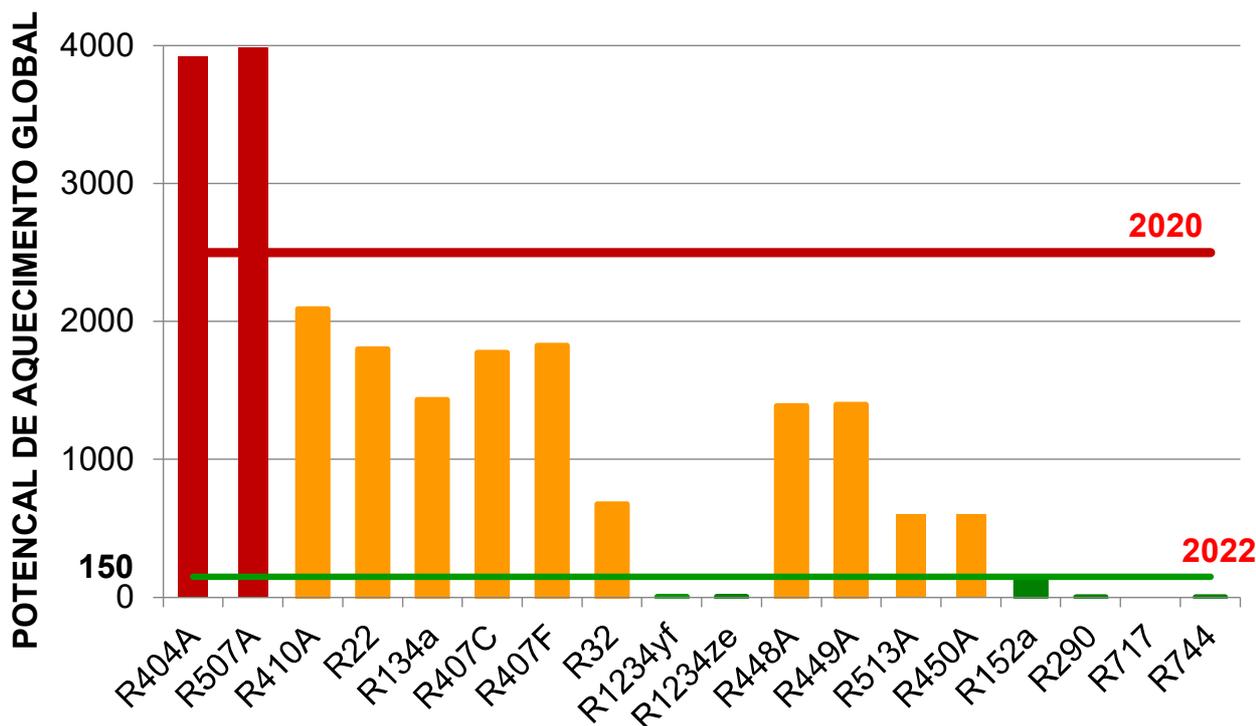


GWP: GLOBAL WARMING POTENTIAL



Legislação Europeia F-Gas 517/2014

Linhas de corte

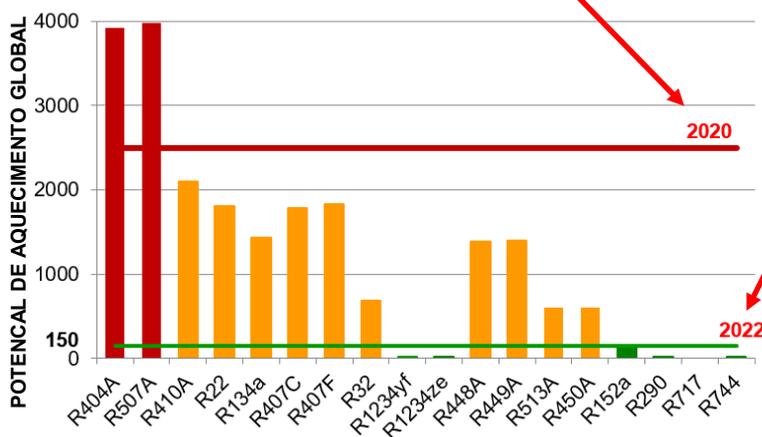


Legislação Europeia (U.E.) F-Gas 517/2014

Linhas de corte

A partir de 2020 fica proibida a fabricação de equipamento de refrigeração estacionário que contém ou depende da operação de HFCs, com GWP igual ou superior a 2.500, exceto dispositivos projetados para aplicações destinadas a refrigerar produtos a temperaturas abaixo de - 50°C (U.E.)

A partir de 2022 fica proibida a fabricação de centrais frigoríficas multicompressor para uso comercial com capacidade igual ou superior a 40kW, que contenham gases fluorados de efeito estufa, ou cujo funcionamento dependa deles, com GWP igual ou superior a 150, exceto nos sistemas primários aplicados em cascata, onde se pode empregar fluidos com GWP inferior a 1 500



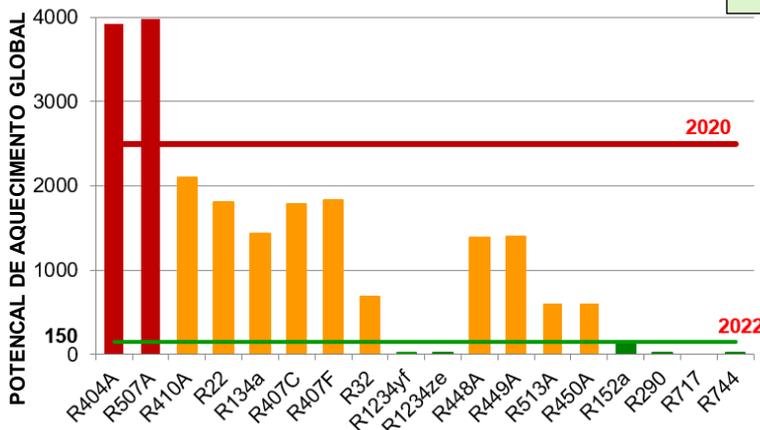
Legislação Europeia F-Gas 517/2014

Linhas de corte

MAS QUAL A RELEVÂNCIA DESTA INFORMAÇÃO PARA O MERCADO BRASILEIRO?



- ✓ Indústrias exportadoras de carnes e outros gêneros alimentícios devem se adequar à legislação do país importador;
- ✓ Redes atacadistas e varejistas de supermercados com matriz em país pertencente à U.E. devem se programar e se adequar à legislação;
- ✓ E isso independe da velocidade e da agenda proposta aos países em desenvolvimento.

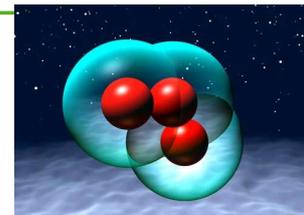


Introdução a sistemas de refrigeração com CO2 - BITZER 11



Protocolo de Montreal Ações Governamentais - Brasil

Cloro - Elemento químico dos CFC's & HCFC's que causa a destruição do Ozônio



- Destruição do Ozônio significa aumentar a radiação UV que atinge a Terra!

CRONOGRAMA DE REDUÇÃO E ELIMINAÇÃO DA PRODUÇÃO E CONSUMO DE HCFC'S

Países Artigo 5	Linha de base	Congelamento	2010	2015	2020	2025	2030	2040
	Consumo: média 2009/2010	2013		10,0%	35,0%	67,5%	97,5%	100,0%
	Produção: média 2009/2010							

Referência: www.protocolodemontreal.org.br

HCFC (Hidroclorofluorcarbono): Composto químico com Potencial de Destruição da Camada de Ozônio (ODP). Contém **Cloro**, **Flúor** e **Hidrogênio**, e é classificado como Gas de efeito estufa. Exemplos: **R22, R123, R141b**



Introdução a sistemas de refrigeração com CO2 - BITZER 12



Fluidos Refrigerantes Sintéticos

Opções atuais e de alternativos de transição

Current HFC refrigerant	"Low GWP" Alternatives for HFC refrigerants [©]					
	ASHRAE Number	Trade Name		Composition (with blends)	GWP [©] AR4 (AR5)	Safety Group
R134a GWP 1430 ^①	R450A	Solstice [®] N-13	Honeywell	R1234ze(E)/134a	604 (547)	A1
	R513A	Opteon [®] XP10	Chemours	R1234yf/134a	631 (573)	A1
	R513B	-	Daikin Chemical	R1234yf/134a	596 (540)	A1
	R456A	AC5X ^③	Mexichem	R32/1234ze(E)/134a	687 (627)	A1
	R1234yf	various		-	4 (< 1)	A2L
	R1234ze(E) ^②	various		-	7 (< 1)	A2L
	R444A	AC5 ^③	Mexichem	R32/152a/1234ze(E)	92 (89)	A2L
-	ARM-42 ^④	Arkema	R1234yf/152a/134a	142 (131)	A2L	
R404A/R507A GWP 3922/3985 (R22/R407C)	R448A	Solstice [®] N-40	Honeywell	R32/125/1234yf/1234ze(E)/134a	1387 (1273)	A1
	R449A	Opteon [®] XP40	Chemours	R32/125/1234yf/134a	1397 (1282)	A1
	R449B ^④	-	Arkema	R32/125/1234yf/134a	1412 (1296)	A1
	R460B	LTR4X ^③	Mexichem	R32/125/1234ze(E)/134a	1352 (1242)	A1
	R452A	Opteon [®] XP44	Chemours	R32/125/1234yf	2140 (1945)	A1
	R452C ^④	-	Arkema	R32/125/1234yf	2220 (2019)	A1
	R460A	LTR10 ^③	Mexichem	R32/125/1234ze(E)/134a	2103 (1911)	A1
	R454A	Opteon [®] XL40	Chemours	R32/1234yf	239 (238)	A2L
	-	-	Daikin Chemical			
	R454C ^②	Opteon [®] XL20	Chemours	R32/1234yf	148 (146)	A2L
R455A	Solstice [®] L-40X	Honeywell	R32/1234yf/CO ₂	148 (146)	A2L	
-	ARM-20b ^④	Arkema	R32/1234yf/152a	251 (251)	A2L	
R457A ^②	ARM-20a ^④	Arkema	R32/1234yf/152a	139 (139)	A2L	
R459B ^②	LTR11 ^③	Mexichem	R32/1234yf/1234ze(E)	144 (143)	A2L	
R22/R407C GWP 1810/1774	-	Solstice [®] N-20	Honeywell	R32/125/1234yf/1234ze(E)/134a	975 (891)	A1
-	R444B	Solstice [®] L-20	Honeywell	R32/152a/1234ze(E)	295 (295)	A2L
R410A GWP 2088	R32	various		-	675 (677)	A2L
	R447B	Solstice [®] L-41z	Honeywell	R32/125/1234ze(E)	740 (714)	A2L
	R452B	Opteon [®] XL55	Chemours	R32/125/1234yf	698 (676)	A2L
	R454B	Opteon [®] XL41	Chemours	R32/1234yf	466 (467)	A2L
	R459A	ARM-71 ^④	Arkema	R32/1234yf/1234ze(E)	460 (461)	A2L

BITZER REFRIGERANT REPORT



Introdução a sistemas de refrigeração com CO2 - BITZER 13

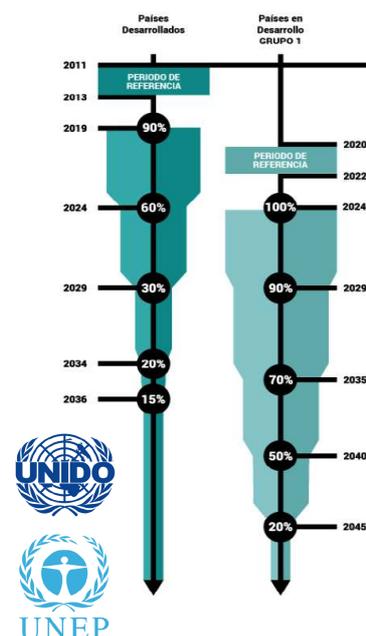


Protocolo de Montreal – Emenda de Kigali

Agenda para extinção dos HFCs *



Linha de Base	Ano	2020-2022	2024-2026	2011-2013
	Componente HFC	Média do consumo HFC	Média do consumo HFC	Média do consumo HFC
	Componente HCFC	65% Linha de base	65% Linha de base	15% Linha de base*
Congelamento		2024	2028	-
1º degrau		2029 – 10%	2032 – 10%	2019 – 10%
2º degrau		2035 – 30%	2037 – 20%	2024 – 40%
3º degrau		2040 – 50%	2042 – 30%	2029 – 70%
4º degrau				2034 – 80%
Platô		2045- 80%	2047- 85%	2036 – 85%



* Em tramitação na esfera legislativa brasileira para aprovação



Introdução a sistemas de refrigeração com CO2 - BITZER 14



Estatística mundial - Total de instalações CO₂ Aplicação em Refrigeração Comercial - Transcrítico



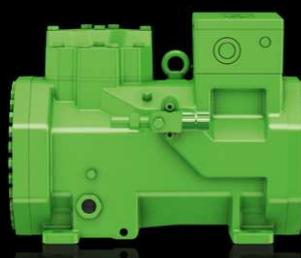
@2019



Introdução a sistemas de refrigeração com CO₂ - BITZER 15



Características do CO₂ – R744



Características do CO₂

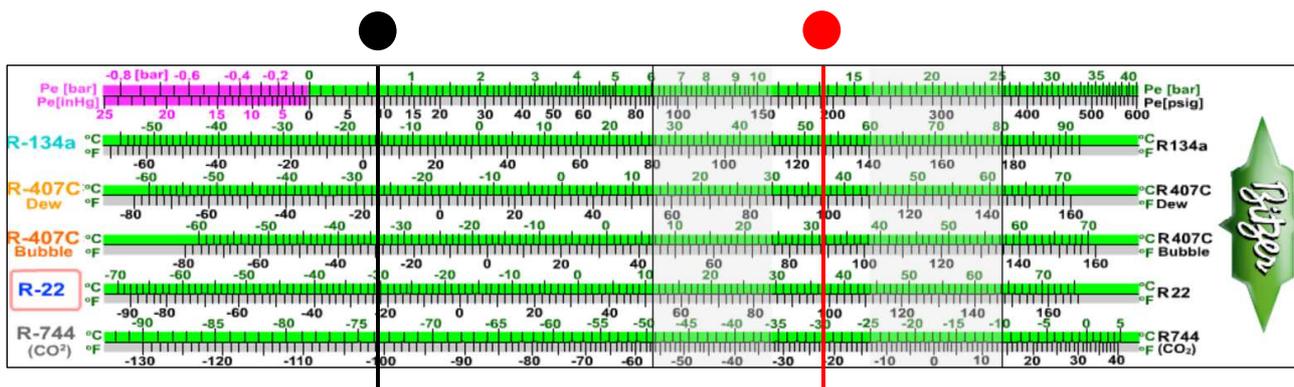
- / Pressões de trabalho MAIS ALTAS em comparação aos fluidos convencionais;
- / Alta densidade, o que permite o uso de compressores de menor deslocamento volumétrico e tubulação de menor diâmetro;
- / **Ponto crítico** em **T=31,1°C/ P~73,6 bar** (não é possível a mudança de fase acima deste ponto);
- / Temperatura mínima de evaporação limitada a **-56,6°C (P ~5,2 bar)**. Abaixo deste ponto o CO₂ entra em região chamada **Ponto Triplo** onde sofre mudança de estado de líquido para sólido, gerando bloqueios de fluxo no sistema.



CO₂ SÓLIDO



Características do CO₂

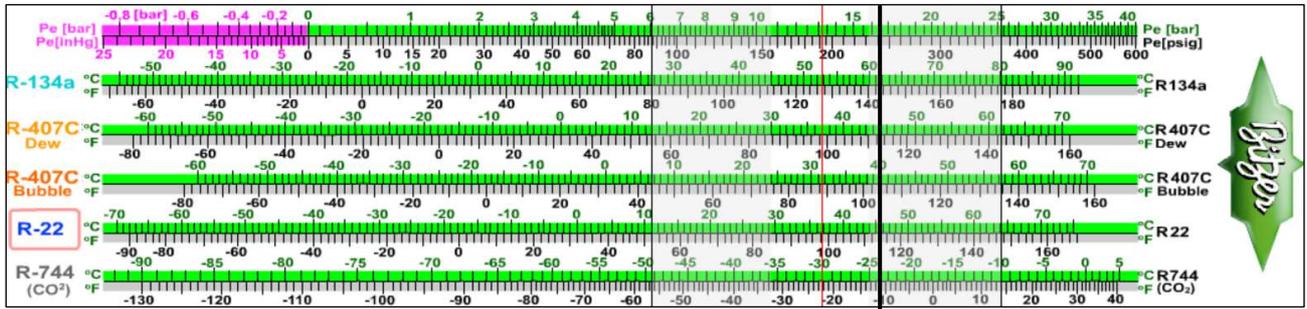


- Observe a régua Pressão x Temperatura acima ↑ e responda....
- Em regime de congelados, temperatura de evaporação a -30°C , a pressão de trabalho é.....

- Para R-22: ●
- Para R-744 (CO₂): ●



Características do CO₂



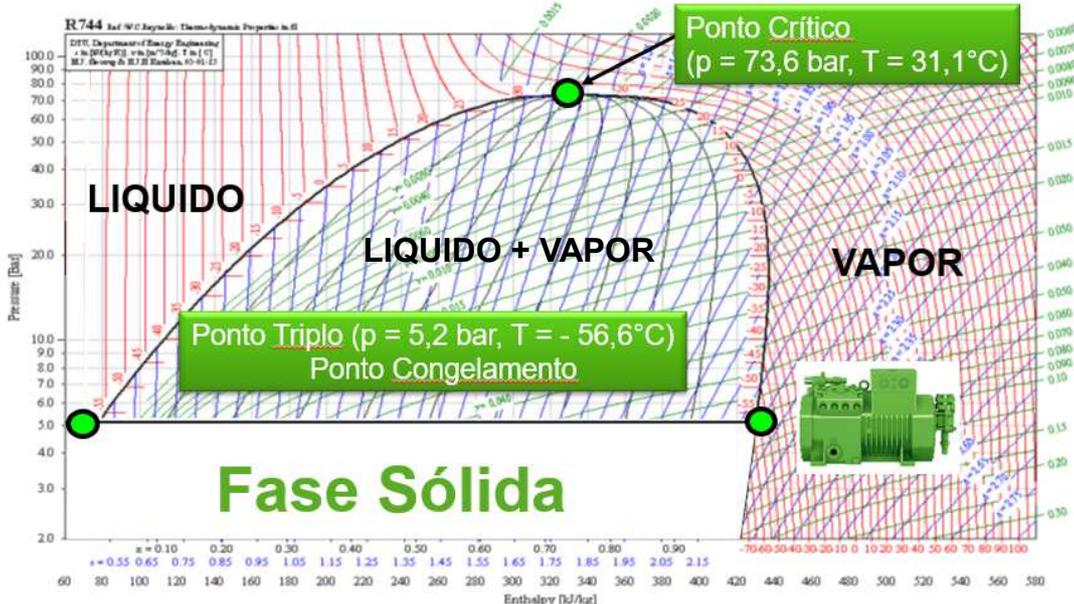
- Observe a régua Pressão x Temperatura acima ↑ e responda....
- Nas condições tradicionais de temperatura de condensação a 45°C, a pressão de trabalho seria portanto.....

- Para R-22: ● _____
- Para R-744 (CO₂): ● ??? _____

Você verá na página seguinte que NÃO É POSSÍVEL condensar o CO₂ a 45°C...



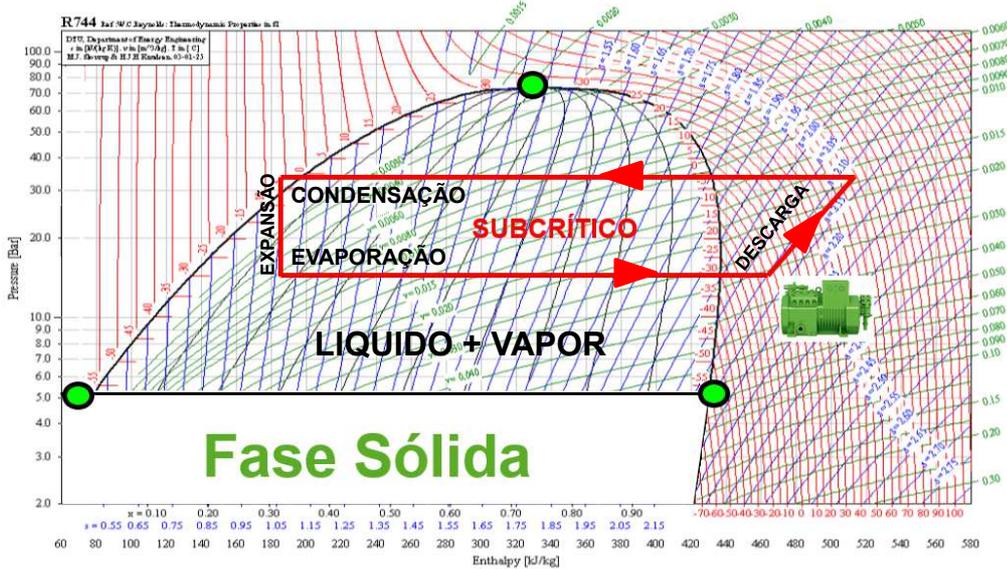
Características do CO₂



Observe no diagrama p-h acima que o limite da condensação é indicado no exato "**Ponto Crítico**", onde a temperatura para mudança de fase é limitada a **31,1°C**, com pressão em 73,6 bar



Características do CO₂



Neste exemplo de operação subcrítica o CO₂ está condensando a 0°C

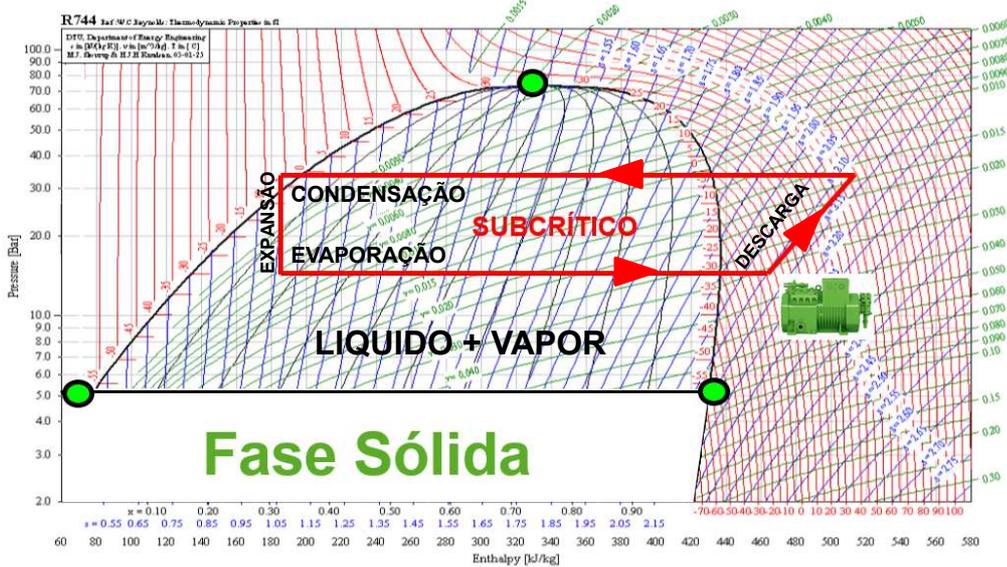


Sistemas que trabalham com pressões abaixo do “Ponto Crítico”, são chamados **SUBCRÍTICOS**. No caso do CO₂ normalmente se utiliza a pressão máxima de operação em 42 bar*.

* Por condições técnicas e comerciais



Características do CO₂



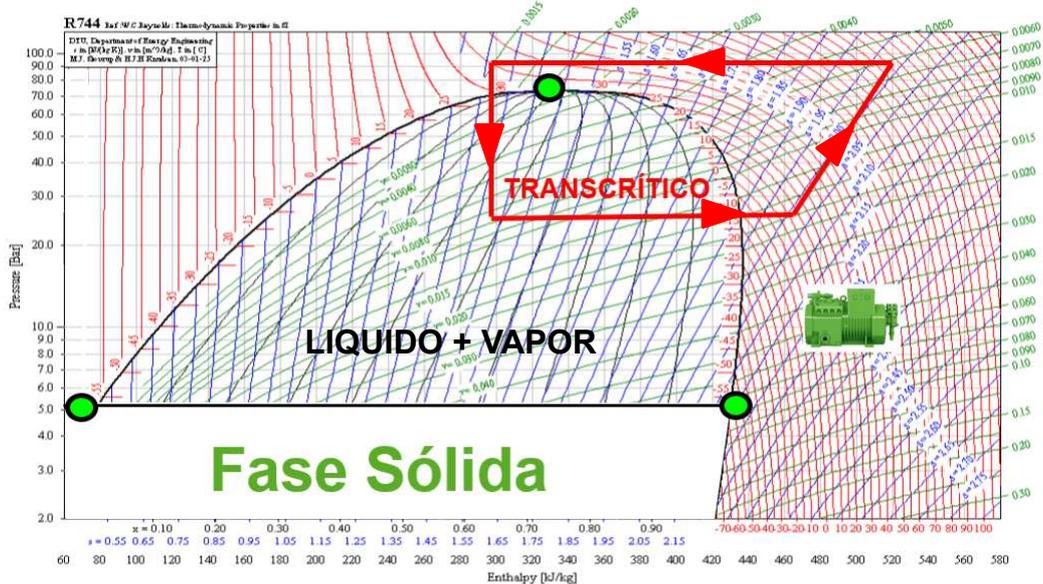
Esse conceito esclarece A FRONTEIRA entre o sistema SUB e TRANCRÍTICO



Observe que acima do ponto verde, PONTO CRÍTICO, já não há mais a região de calor latente, Fisicamente não ocorre a condensação, somente o resfriamento do vapor superaquecido.



Características do CO₂

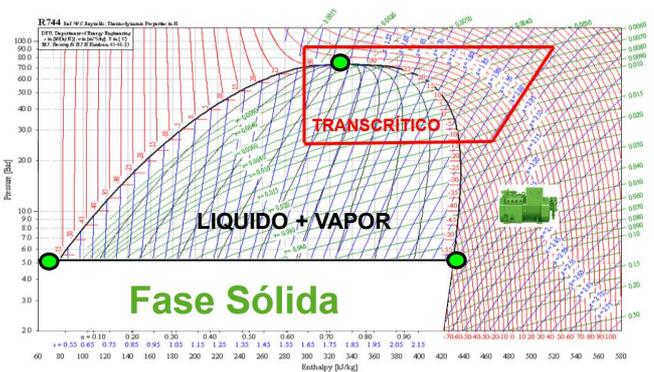
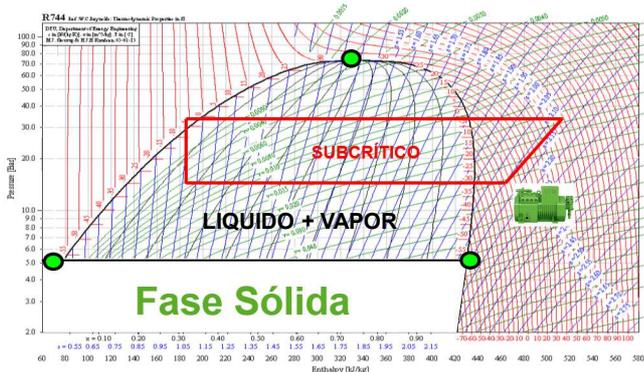


Sistemas que trabalham com pressões de descarga de compressores acima do “Ponto Crítico”, são chamados **TRANSCRÍTICOS**, onde se admitem pressões de até 120 bar*

* Com exceções em alguns projetos com pressões superiores, como bombas de calos por exemplo



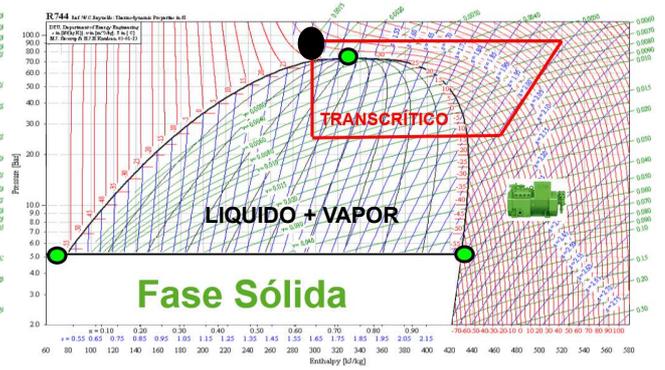
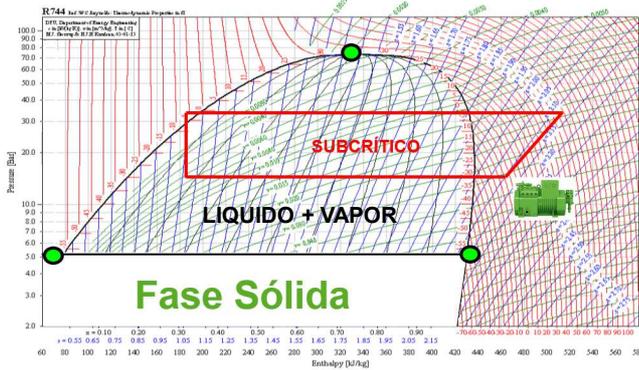
Características do CO₂



- Observe e compare os gráficos acima...
- O sistema **SUBCRÍTICO** trabalha com as pressões dentro da linha de saturação. Na pressão de descarga existe perda de calor sensível e latente dentro de um “condensador”, que opera com auxílio de fluido primário com temperatura abaixo da temperatura de condensação do CO₂. É comum a aplicação de solução de PolipropilenoGlicol 30%, ou qualquer outro fluido de expansão direta para realizar a condensação do CO₂.



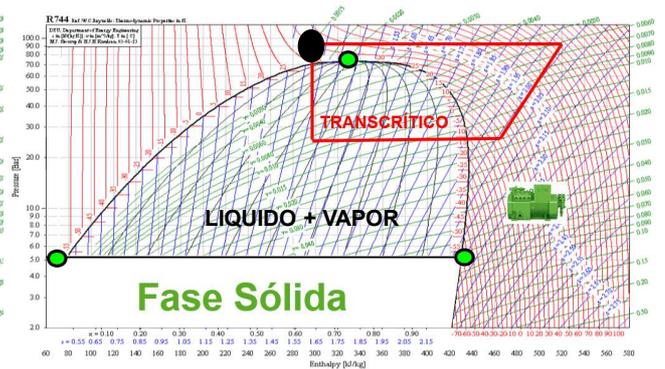
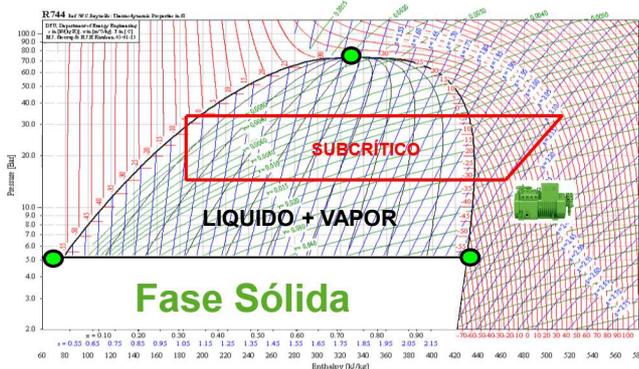
Características do CO₂



- Observe e compare os gráficos acima...
- O sistema **TRANS**CRÍTICO trabalha acima do PONTO CRÍTICO, ou seja, a relação pressão x temperatura na descarga já não é constante, no trocador de calor (GAS COOLER) ocorre a perda de calor sensível (diminuição de temperatura) porém não ocorre a mudança de fase*. Observe que a formação de CO₂ líquido se dá por queda de pressão após o CO₂ passar por dispositivo ● adequado à essa finalidade.



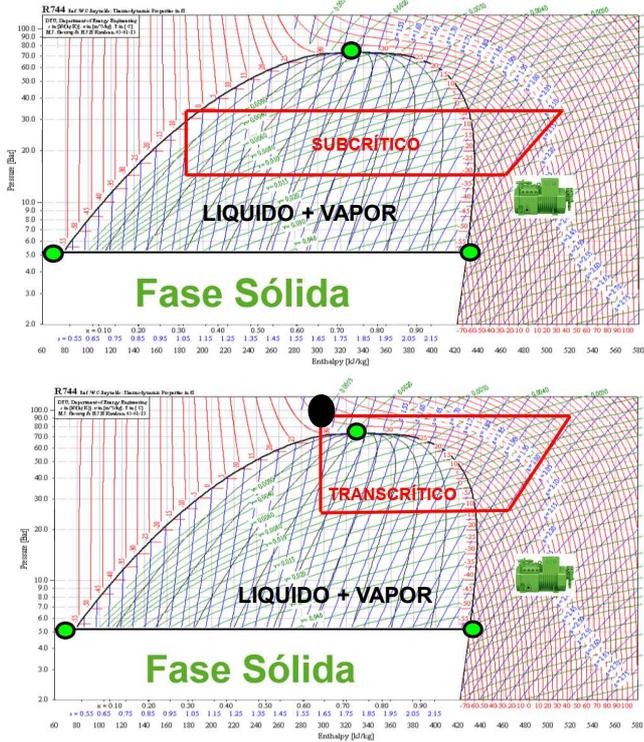
Características do CO₂



- * O sistema **TRANS**CRÍTICO pode eventualmente trabalhar em condição SUBCRÍTICA, dependendo da temperatura ambiente externa. Ou seja, se há condição de trabalhar com pressão de descarga reduzida devido à menor temperatura ambiente o CONTROLADOR possui algoritmo dedicado que atua diretamente sobre a válvula ● que gera a queda de pressão, aumentando sua taxa de abertura, o que reduz a pressão de descarga fazendo com que os compressores trabalhem dentro da região SUBCRÍTICA.



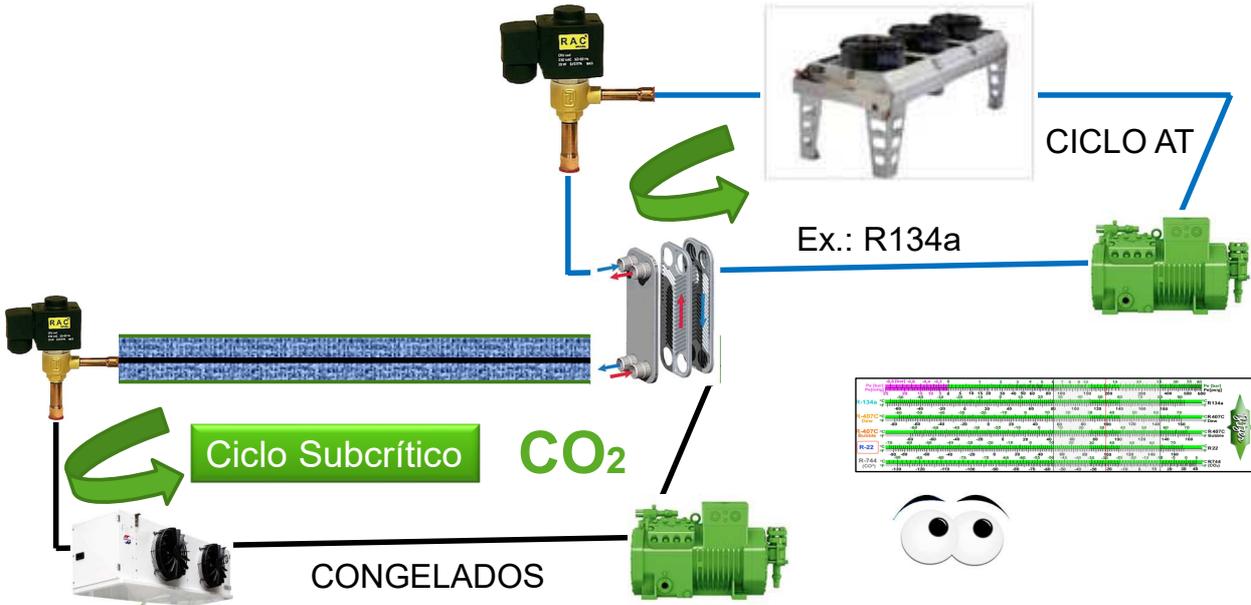
Características do CO₂



Portanto o sistema SUBCRÍTICO utiliza dos tipos de fluidos refrigerantes, pois é necessário que o CO₂ seja resfriado por fluido auxiliar. Já o sistema TRANSCRÍTICO utiliza apenas o fluido CO₂, porém utiliza pressões de trabalho mais elevadas..



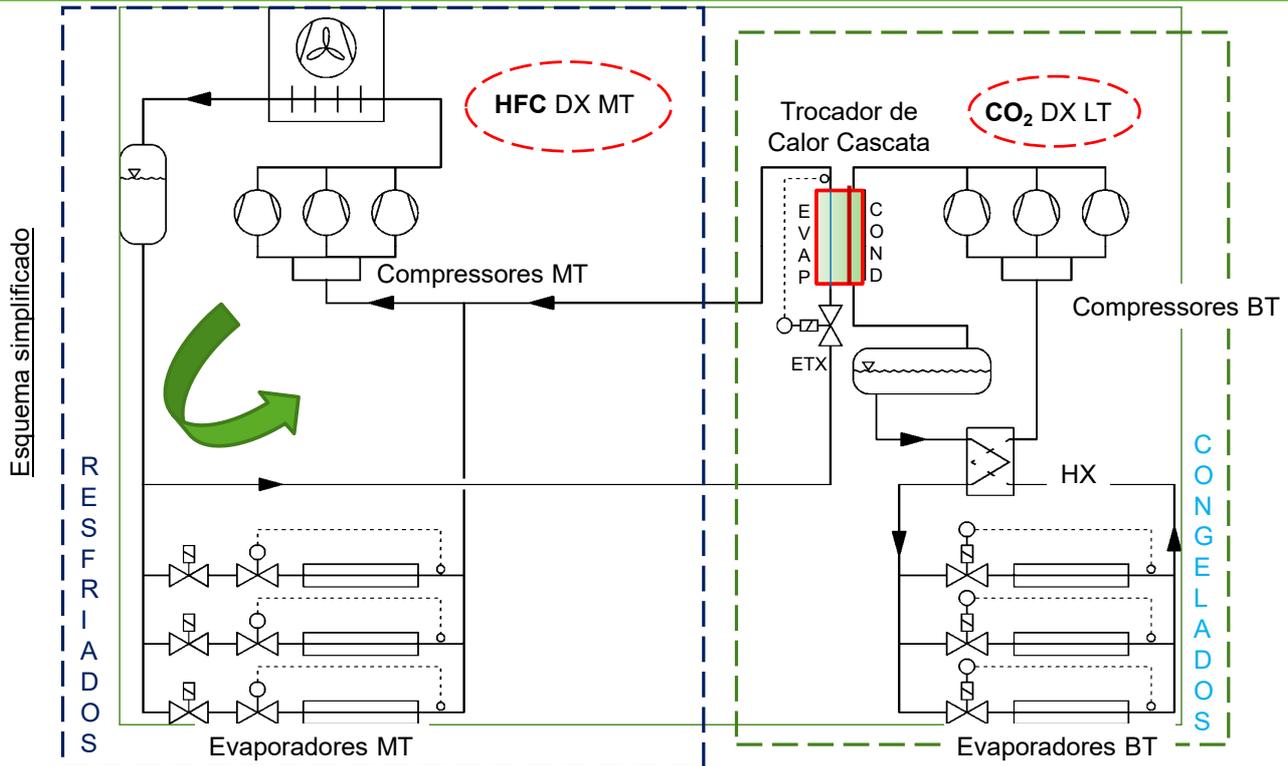
Ciclo Subcrítico com CO₂ Exemplo de cascata com R134a



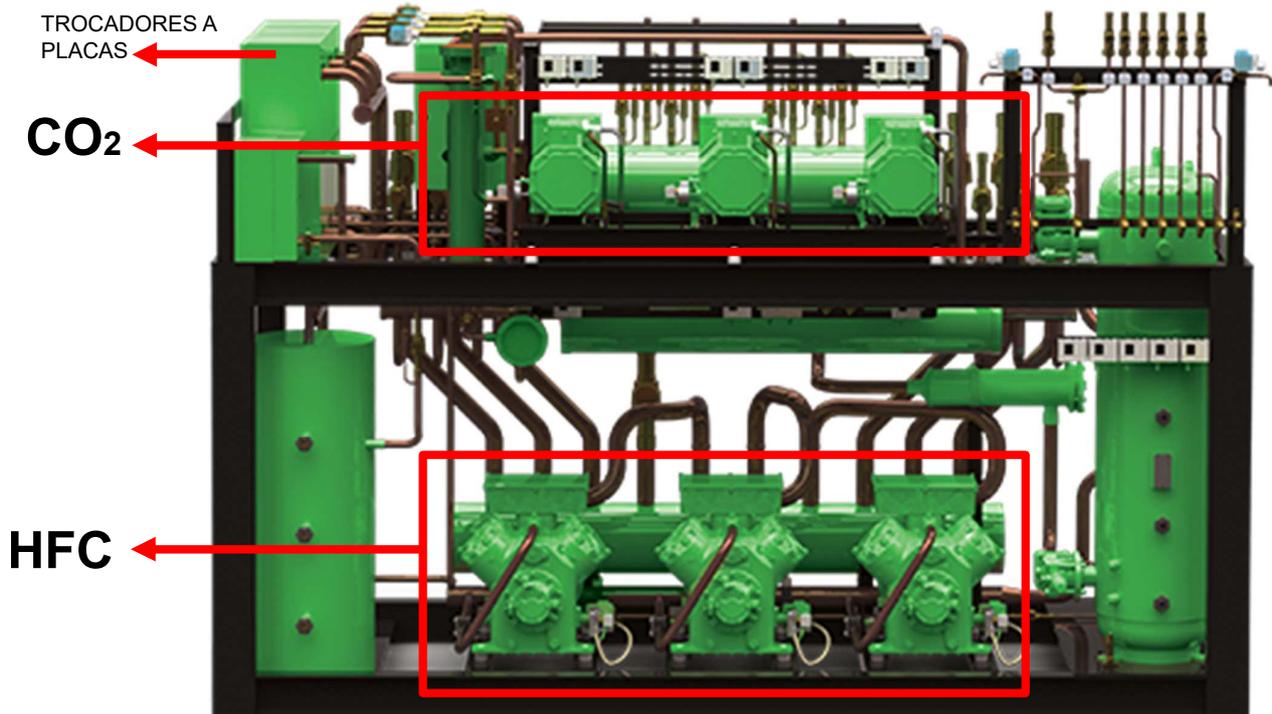
No ciclo Subcrítico o compressor de CO₂ realiza a compressão a níveis de pressão abaixo da pressão do ponto crítico (P. máx 73,6 bar / T. cd máx. 31,1°C)



Exemplo 1 - Carga MT com HFC Carga BT com CO₂ em cascata



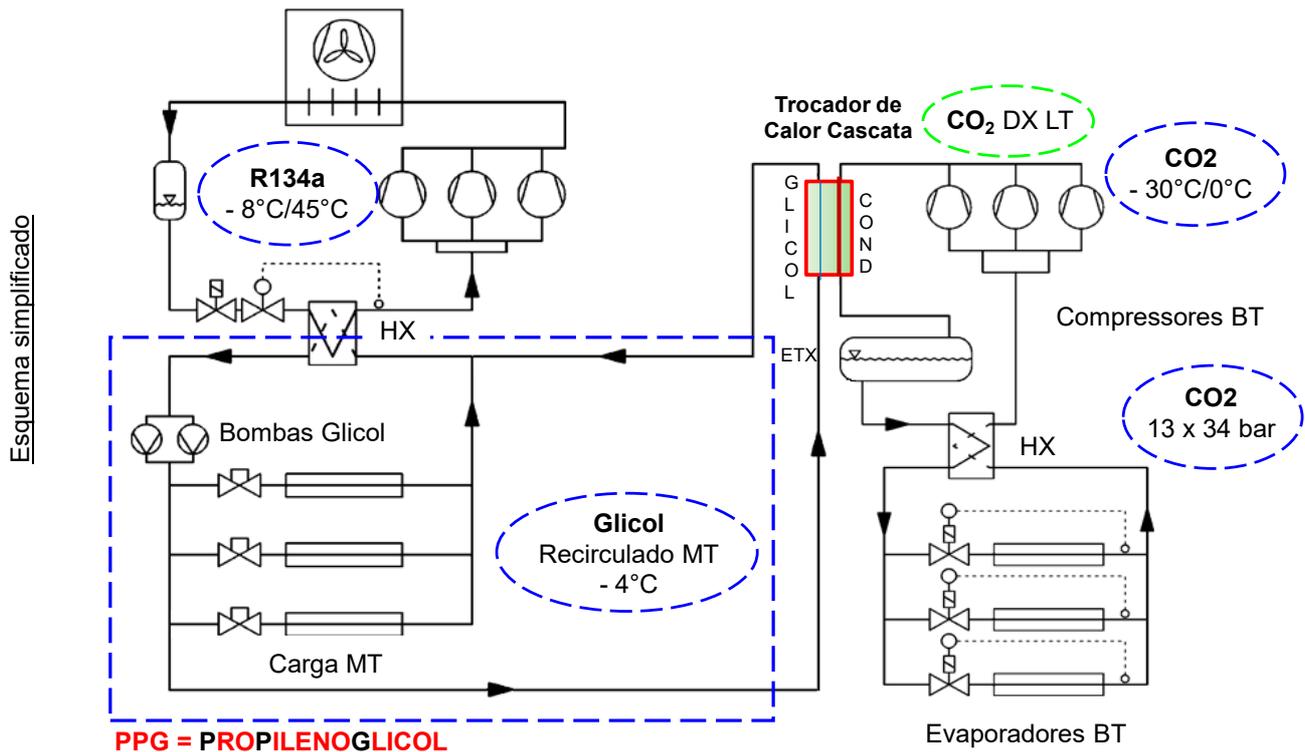
Exemplo 1 - Carga MT com fluido HFC Carga BT com CO₂ em cascata



Sistema em cascata CO₂ / HFC

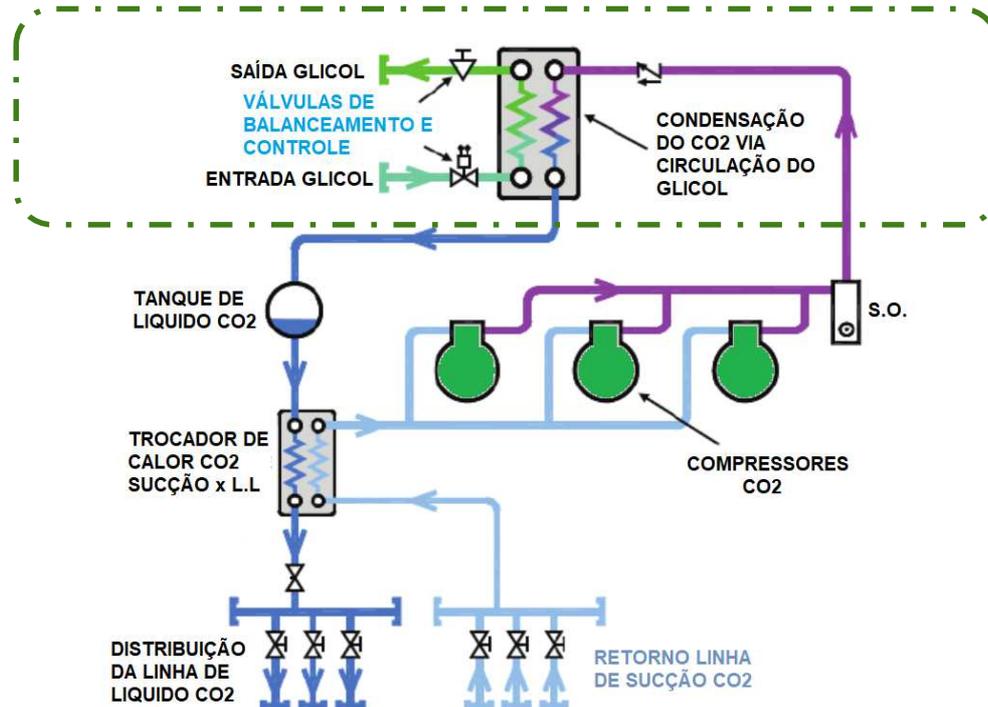


Exemplo 2 – HFC resfriando PPG para carga MT Carga BT com CO₂ em cascata



Exemplo 2

PPG condensando CO₂ em cascata

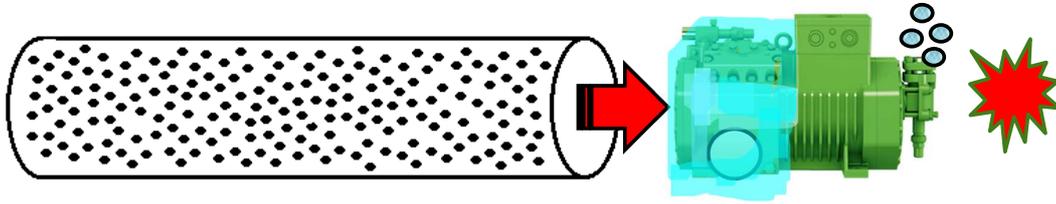


Características gerais de sistemas subcríticos com CO₂



Controle do Superaquecimento Total

CO₂ → Elevada densidade

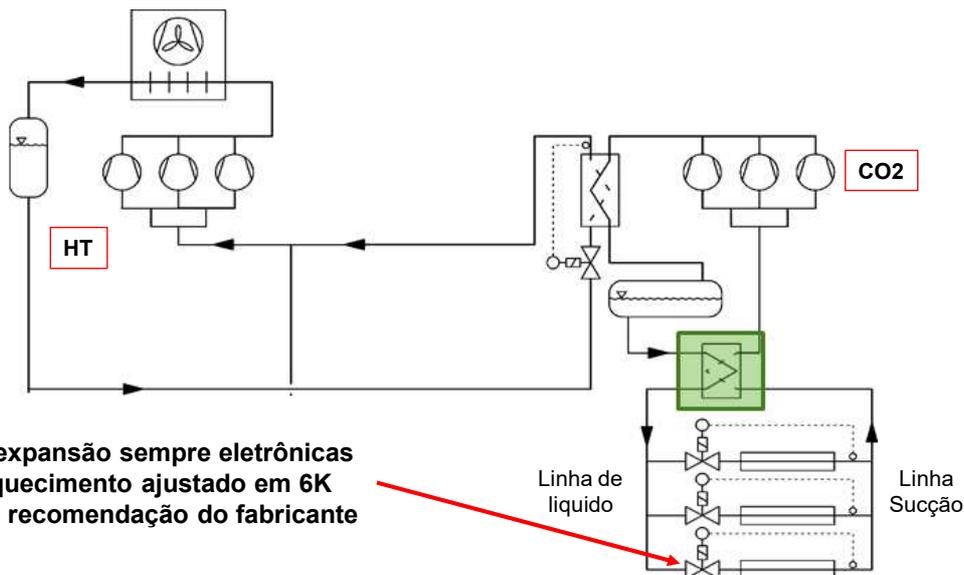


Superaquecimento total com CO₂ entre 20 e 30K

Valores inferiores a 20K permitem maior solubilização de CO₂ no óleo, reduzindo sua viscosidade, aumentando a taxa de arraste e colocando o compressor em risco de quebra prematura ou redução de vida útil



Controle do Superaquecimento Total

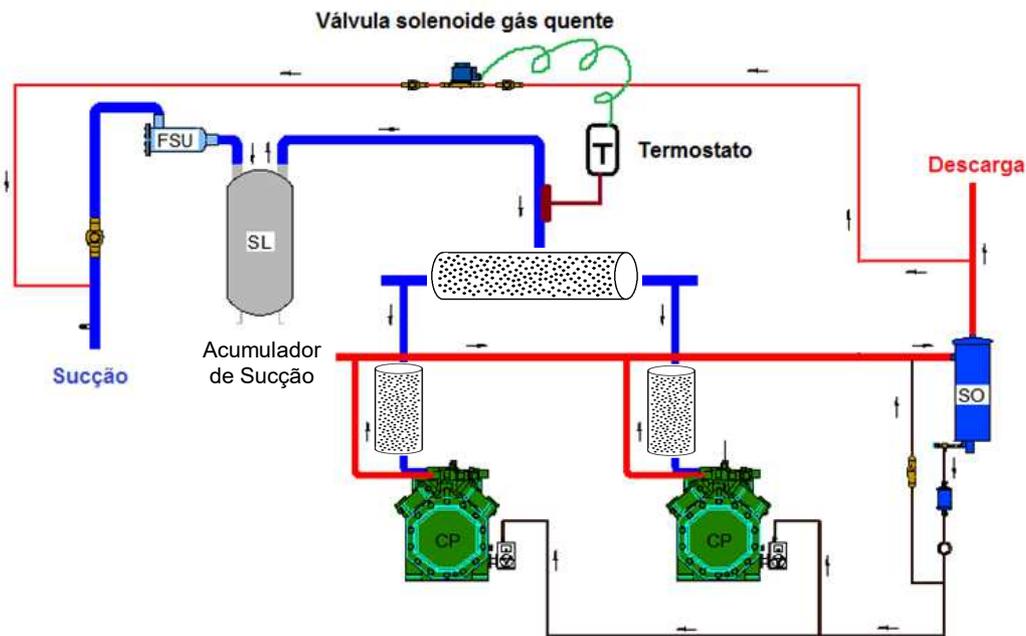


Válvulas de expansão sempre eletrônicas com superaquecimento ajustado em 6K ou conforme recomendação do fabricante

Instalação de um trocador de calor interno entre a linha de líquido & linha de sucção com a finalidade de ganho de superaquecimento na linha de vapor ~ +10K



Controle do Superaquecimento Total



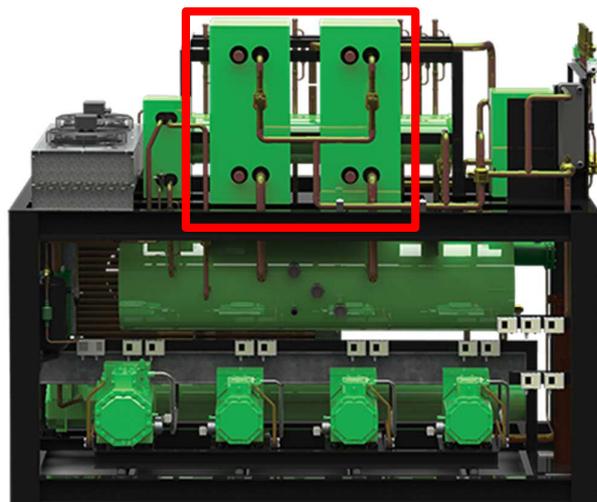
Injeção de gás quente (descarga) na sucção com auxílio de controlador para monitoramento e controle de superaquecimento total



Controle do Superaquecimento Imagens de falhas por má lubrificação



Trocador de calor cascata



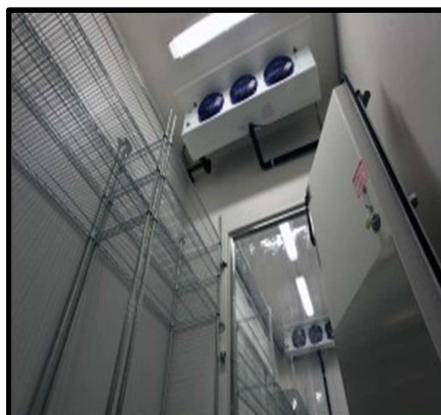
- / Normalmente carga de condensação dividida em 2 trocadores de placas brasadas;
- / Fluido primário PPG com válvula controladora de fluxo;
- / **Ou** fluido primário halogenado com V. Expansão Eletrônica.



Degelo

Degelo elétrico

- / “Pump down” para evaporadores em momento de degelo;
- / Degelo com programação habitual;
- / Poucos grupos em degelo (outros evaporadores em operação) para evitar aumento significativo da pressão de sucção após o degelo;
- / Durante o degelo os compressores mantem a operação normal, a pressão está controlada!
- / Alterações na operação poderão influenciar no resultado do superaquecimento da sucção e riscos ao compressor.



Condições de parada do Sistema

Para fluidos HCFC's e HFC's as paradas no sistema por queda de energia elétrica, falha em componentes ou manutenção não causam perda de refrigerante;

/ Porém...Com o CO₂, uma parada do sistema pode causar a perda do fluido refrigerante pelas válvulas de segurança, lembre-se que CO₂ líquido trocando calor com ambiente a 30°C pode alcançar pressão ~ 70bar!

/ Recomenda-se a instalação de Unidade de resfriamento (U.C.) no tanque de CO₂ em Emergência com Nobreak ou Gerador

/ Recomenda-se alternativamente a alimentação de 01 compressor de cada etapa (alta e baixa) para estabilização das pressões

/ Tanque e linhas de líquido → isolado (Manta ou PU)



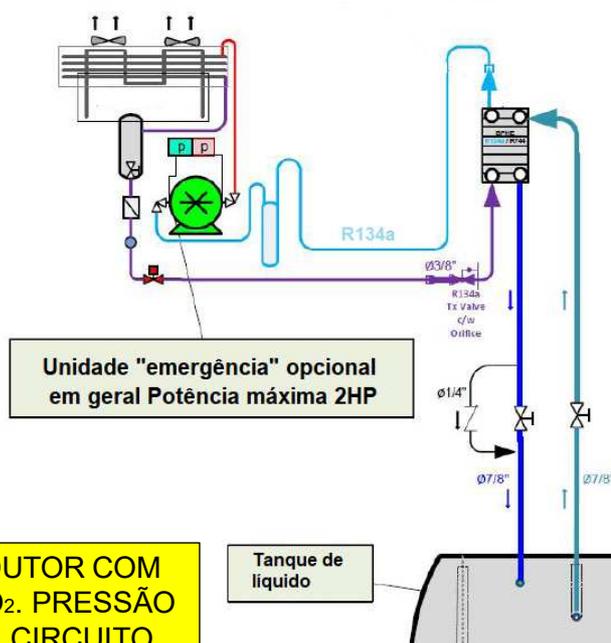
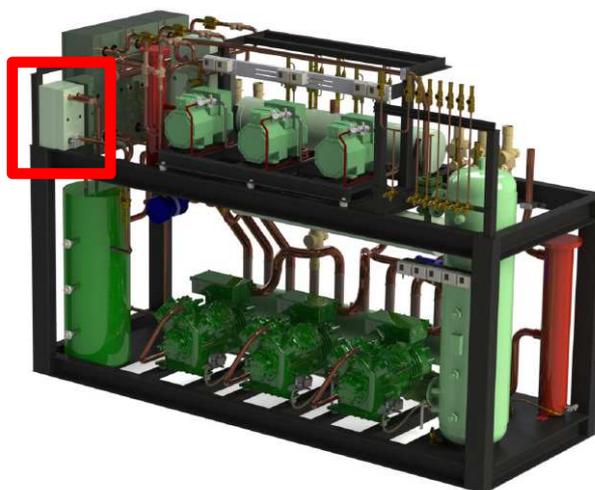
Tanque CO₂ isolado



UC emergência



Unidade de resfriamento



CONTROLE : VIA PRESSOSTATO/TRANSDUTOR COM TOMADA DE PRESSÃO NO TANQUE DE CO₂. PRESSÃO DE AJUSTE ACIONA SOLENÓIDE DA U.C., CIRCUITO OPERANDO ESTABILIZA PRESSÃO DO TANQUE.



Componentes para CO₂ - Pressão e compatibilidade

- / Todos os componentes devem ser compatíveis com a pressão máxima de trabalho admissível de projeto, compatíveis com o fluido R744 e o lubrificante utilizado (POE);
- / Sistemas Subcríticos convencionais operam com válvulas de segurança de 25 bar na linha de sucção e 42 bar na linha de descarga;
- / Sistemas Transcríticos convencionais operam com válvulas de segurança de 25 bar na linha de sucção de congelados, 42 bar na linha de sucção MT e 120 bar na linha de alta (descarga dos compressores MT até a válvula reguladora de pressão); Existem diversas outras configurações possíveis disponíveis atualmente;
- / CO₂ líquido tem alto poder de solubilização de elastômeros (borrachas), verificar cuidadosamente o componente aplicado.



Diagrama geral exemplo Circuito cascata com R-134a / PPG / CO₂

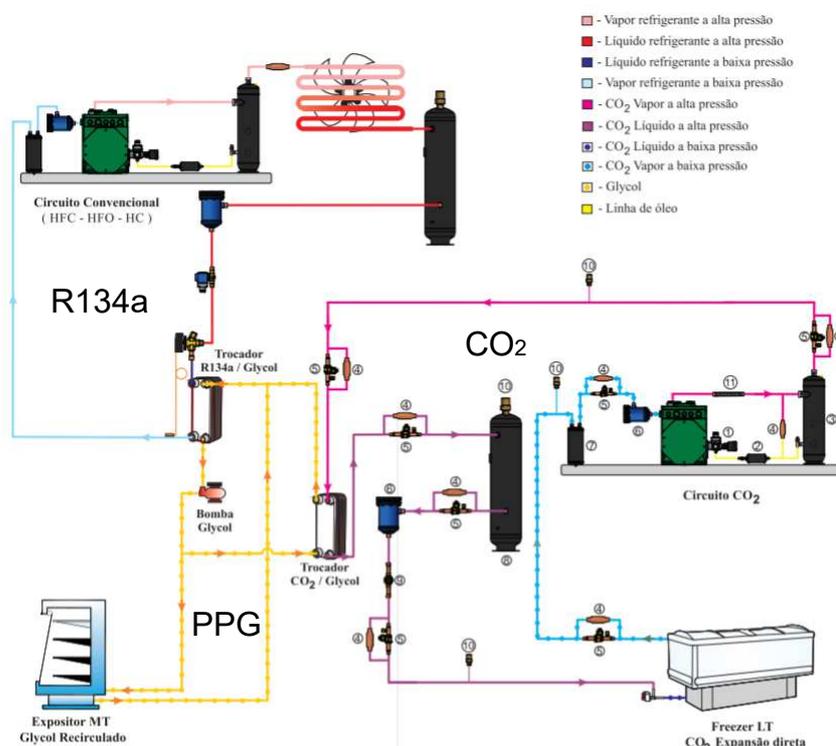
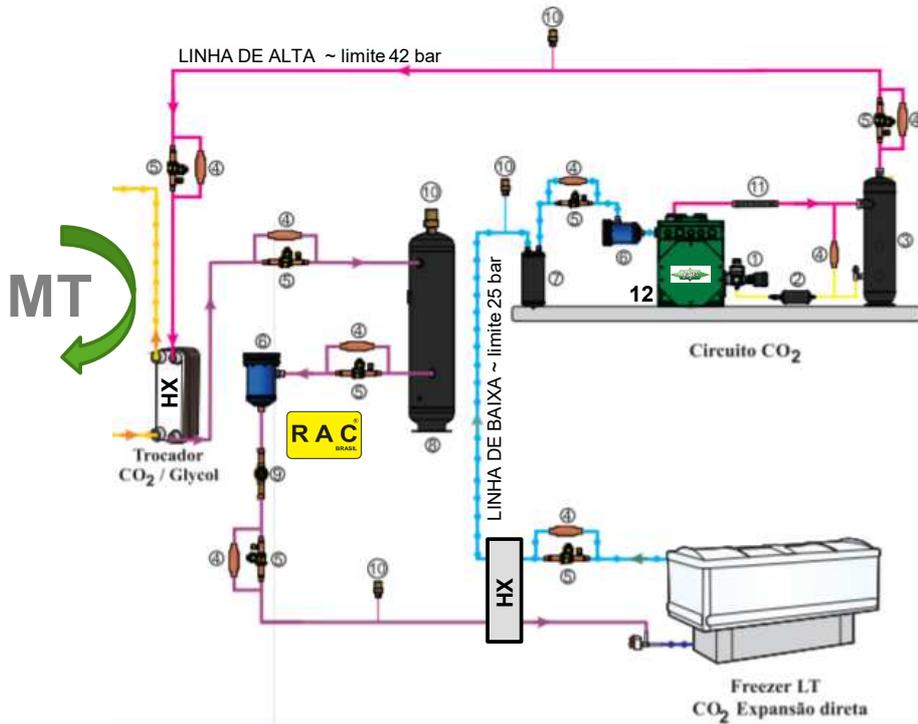


Diagrama geral mecânico Subcrítico Circuito cascata com R-134a / PPG / CO₂

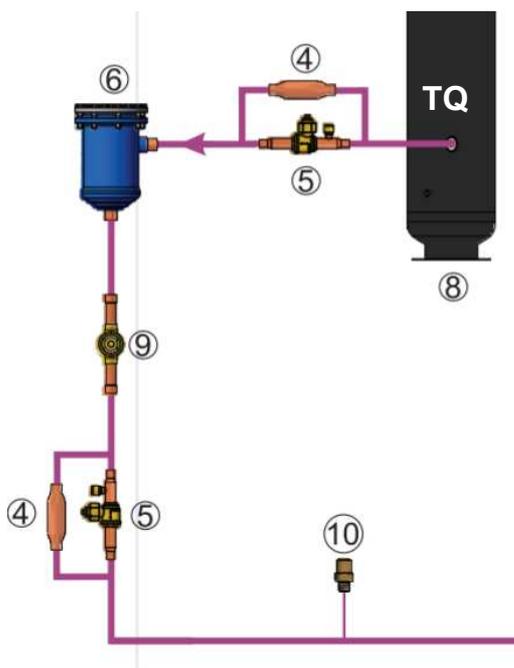


N	Componente
01	Regulador de nível de óleo
02	Filtro de óleo
03	Separador de óleo
04	Válvula de alívio e retenção
05	Válvula esfera
06	Filtro secador
07	Acumulador de sucção
08	Tanque de líquido
09	Visor de líquido
10	Vv segurança
11	Flexível
12	Compressor



Componentes para CO₂

❑ VÁLVULA DE ALÍVIO e RETENÇÃO



/ Para evitar o aprisionamento de CO₂ e consequente brusca elevação de pressão, utiliza-se válvula de alívio (referência 4) paralela a qualquer ponto de bloqueio. Na eventualidade de subida de pressão ($\Delta P > 10$ psig entre as extremidades) a válvula abre aliviando para ramal onde exista válvula de segurança para alívio ao exterior.

/ Esse recurso é aplicado tanto nos ramos de alta quanto de baixa pressão no sistema CO₂.



Componentes para CO₂

❑ VÁLVULA DE ALÍVIO e RETENÇÃO



/ Para evitar o aprisionamento de CO₂ e consequente brusca elevação de pressão, utiliza-se válvula de alívio (referência 4) paralela a qualquer ponto de bloqueio. Na eventualidade de subida de pressão ($\Delta P > 10$ psig entre as extremidades) a válvula abre aliviando para ramal onde exista válvula de segurança para alívio ao exterior.

/ Esse recurso é aplicado tanto nos ramos de alta quanto de baixa pressão no sistema CO₂.



Válvulas de Segurança para CO₂



Componentes para CO₂

CONTROLES DE PRESSÃO E CONEXÕES PARA SISTEMAS SUBCRÍTICOS

Os controles poderão ser do mesmo material utilizado com o R22, R404A, etc., porém adequados aos níveis de pressão do CO₂ (KP5, KP6W)



Parâmetros de Regulagem e operação Exemplo para sistema Subcrítico



KP 5 (BP)



KP 6W (AP)



	ON	OFF	ON	OFF
	170	140	470	530
	180	150	490	550
	190	160	510	570



Parâmetros de Regulagem e operação

Exemplo para sistema Subcrítico



	KP 5 (BP)		KP6W (AP)	
	ON	OFF	ON	OFF
	170	140	470	530
	180	150	490	550
	190	160	510	570

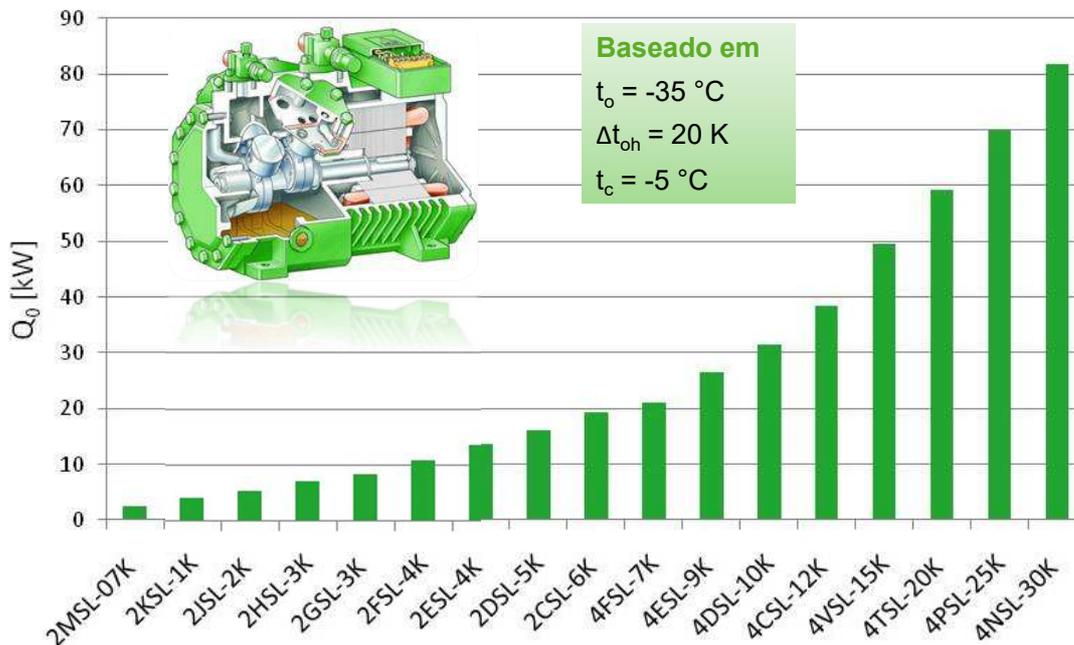
- / Os ajustes acima são sugestões para os dispositivos redundantes de operação e controle eletromecânicos (pressostatos).
- / O controle operacional do equipamento é realizado normalmente por CLPs disponíveis facilmente no mercado, que gerenciam as etapas CO₂ e sistema de condensação intertravadas.



Linha de Compressores BITZER

Aplicação Subcrítica

Capacidade Nominal de Refrigeração



Compressores a pistão para CO₂



Óleo POE para aplicação Subcrítica

KÄLTEMASCHINENOEL BSE 60 K Synthetic Refrigeration Oil for CO₂ Compressors

Typical technical data:

Properties	Unit		Test Method
Colour		1	DIN ISO 2049
Density at 15°C	kg/m ³	1009	DIN 51 757
Flashpoint	°C	286	DIN ISO 2592
Kinematic viscosity at 40°C at 100°C	mm ² /s mm ² /s	55 8.8	DIN EN ISO 3104
Viscosity index	-	137	DIN ISO 2909
Pour point	°C	- 48	DIN ISO 3016
Neutralization number	mgKOH/g	0.03	DIN 51 558-3
Water content	mg/kg	< 30	DIN 51 777-2



Tubulação de Sistemas com CO₂

- / Tubulação de cobre ou aço são usadas nos sistemas projetados para a aplicação subcrítica e transcítica – observar sempre os limites de pressão;
- / Utilizar tubulação de cobre sem costura ou tubos de liga de cobre com as paredes mais grossas para as aplicações com CO₂;
- / Preferencialmente solicitar tubo selado nas extremidades & desidratado;
 - Recomenda-se adquirir tubulação aderente à norma **ASTM B280**;
- / CO₂ utiliza lubrificante POE: extremamente higroscópico.
- / Usar Nitrogênio seco durante a soldagem para reduzir risco de oxidação do metal;



Tubulação de cobre Observar o limite de pressão máxima

TUBO DE COBRE SEM COSTURA – NORMA ASTM B 280

comprimento mm	diâmetro mm (pol)	espessura mm	peso kg/m	bar	
				pressão máx kgf/cm ²	pressão máx lb/pol ²
6000	9,52 (3/8)	0,76	0,186	71	1010
6000	12,70 (1/2)	0,89	0,294	62	882
6000	15,87 (5/8)	1,02	0,424	56	797
6000	19,05 (3/4)	1,07	0,539	49	697
6000	22,22 (7/8)	1,14	0,673	44	626
6000	28,57 (1 1/8)	1,27	0,971	38	540
6000	34,92 (1 3/8)	1,4	1,314	35	498
6000	41,27 (1 5/8)	1,52	1,692	30	427
6000	53,97 (2 1/8)	1,78	2,601	28	398
6000	66,67 (2 5/8)	2,03	3,674	26	370
6000	79,37 (3 1/8)	2,29	4,942	25	356
6000	92,07 (3 5/8)	2,54	6,367	23	327
6000	104,77 (4 1/8)	2,79	7,767	22	313

Fornecedor Eluma (tubo reto de cobre – liga 122 – têmpera dura ou mole)
Limpo internamente e tamponado com identificação (gravação) ao longo tubo



Carga de Refrigerante e Partida do Sistema



- / Assim como qualquer sistema de refrigeração típico, é necessário procedimento de vácuo e alcance de 500 μ m mantidos por pelo menos 24 horas;
- / Nos sistemas Subcríticos **realizar primeiramente a partida do equipamento responsável pela condensação do CO₂** para garantir o resfriamento do intercambiador cascata;
- / Nos sistemas Transcríticos o **estágio MT sempre deverá ser o primeiro a operar**;
- / Todos os controles de operação e segurança do sistema deverão ser entendidos e pré-ajustados antes da carga dos fluidos refrigerantes;
- / É de competência do técnico responsável o conhecimento dos manuais do equipamento e componentes;



Carga de CO₂ e partida do sistema



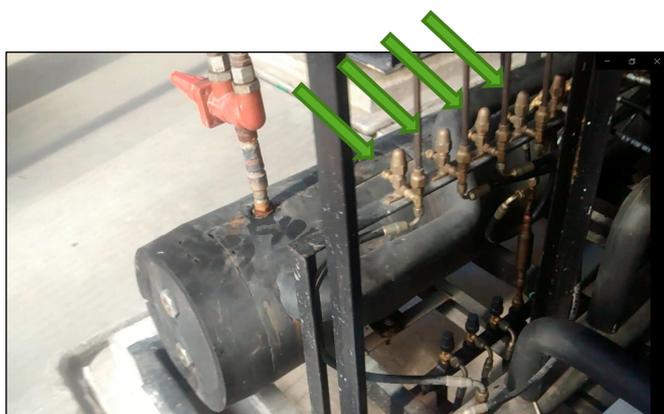
- / CO₂ é fornecido em cilindros industriais com carga entre 25 e 35Kg;
- / O teor de umidade dos óleos BITZER BSE60K / BSE85K é de máx. ***30 ppm H₂O**. Recomenda-se utilizar o fluido CO₂ com grau de ppm de água até 50ppm, desde que seja feita a carga inicial através do filtro secador do sistema;
- / Recomenda-se após 100h de operação a troca do filtro secador e da carga do óleo lubrificante;
- / A carga de CO₂ para o sistema através do cilindro deverá ser feita sempre com um **regulador de pressão (SEGURANÇA!)**
- / A resistência de aquecimento de cárter deverá estar alimentada;
- / **A carga inicial deverá ser realizada em estado vapor. NÃO carregar com CO₂ líquido** até que a pressão interna de todo o sistema esteja acima de 61 psi.g (acima do ponto triplo).



Carga de CO₂ e partida do sistema



- / A carga em estado líquido somente deverá ser feita no tanque de líquido, na linha de líquido, ou em linha de sucção úmida (no caso de sistemas bombeados);
- / Sistemas aplicados com CO₂ possuem válvulas e coletores de serviço dedicados a esta manobra de carga em vapor ou líquido.



Carga de CO₂ e partida do sistema

- / Realize a carga com cautela ajustando o regulador dentro da faixa de pressão permitida no ramal do sistema;
- / Utilize o regulador de pressão correto: existem reguladores que estão adequados apenas ao fluxo de CO₂ em estado vapor;
- / Pode ser necessário o aquecimento do cilindro para a extração total do CO₂ na etapa final da esvaziamento da garrafa.
- / Cilindro em posição horizontal está alimentando o sistema em carga líquida!



Soprador térmico



Regulador de pressão



Atenção para a qualidade do CO₂



Certificado de Conformidade

Air Products Brasil Ltda
Av. Francisco Matarazzo, 1400
11 Andar - Cond. Edifício Milano
05001-903 SÃO PAULO - SP
BRASIL
Data da impressão: 8 Nov 11

Tipo do vasilhame: X50S - 50L - Garrafa de Aço
Válvula de conexão: CGA 320
Peso líquido: 30 kg
Grau de pureza: TECH



Material 256434- DIÓXIDO DE CARBONO	Data de Fabricação 02.11.2009	Data de análise 02.11.2009	Consumir até 02.11.2016
		Lugar de origem 4001	

Limite inferior	Limite superior	Valor nominal	Valor atual	Unidade	Incert. Expandida	Nr. Rep. Desvio	Análise		
							Fase	Frequência	Método
							V	B	
							V	B	

Typical specifications**

Purity	>99.99%
Moisture	<10ppm (weight)
Contents (kg)	
Cylinders	5-40 kg
Bulk supply	
Pressure @ 21°C	50-60 bar



Carga de Refrigerante e Partida do Sistema



- / As válvulas de manobra dos coletores de serviço possuem conexão de 1/4" ou 3/8" e podem ser conectadas com mangueiras que suportem pressões de 580 psi.g ou mais;
- / **Válvulas Schrader não são utilizadas em sistemas com CO₂**
- / Mangueiras com material flexível poderão ficar frágeis e deformadas sob baixas temperaturas, estando mais sujeitas a vazamentos ou rupturas por ação mecânica;
- / Recomenda-se alternativamente utilizar tubos de cobre com porca e flanges nas extremidades como opção às mangueiras.
- / Metodologia de carga tradicional, nível de tanque e posterior balanceamento por superaquecimento e subresfriamento do sistema.

Sistemas de refrigeração aplicados com CO₂ utilizam válvulas de serviço para acesso aos ramais com a finalidade de carga ou vácuo



Balanceamento do sistema de CO₂



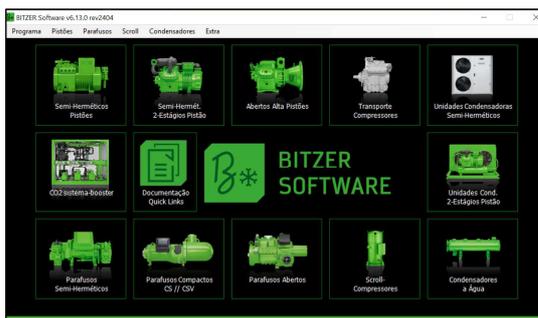
- / Habilitar os evaporadores de maneira escalonada, pequenos grupos por vez. O CO₂ tem resposta extremamente rápida e alcança set-point em tempo inferior aos fluidos convencionais;
- / O valor do superaquecimento útil nos evaporadores é tipicamente 6K, porém cada fabricante informa sua recomendação. Todas as válvulas de expansão em sistema de expansão direta são eletrônicas. Cuidados redobrados quanto ao posicionamento e instalação dos transdutores de pressão e sensores de temperatura pelo risco de contato com umidade e gelo;
- / O visor de linha de líquido deve se apresentar cheio quando todos os evaporadores estiverem em operação;
- / O superaquecimento total do fluido refrigerante observado próximo aos compressores deverá estar dentro da faixa 20..30K;
- / CO₂ de qualidade inadequada gera altas pressões de descarga, bem como formação de gelo internamente à válvula de expansão por alto teor de água.



Verificações

- / Utilize o software BITZER para verificação do funcionamento dos compressores de acordo com o regime aplicado. O software informa diversas variáveis importantes (temperatura de descarga, corrente elétrica, demanda de condensador, capacidade frigorífica, etc...) que confirmam a correta aplicação do compressor de acordo com as condições lidas (pressões de trabalho, superaquecimento, subresfriamento, tensão elétrica, etc...);
- / Voce pode baixar o software na página:

<https://www.bitzer.de/br/pt-br/tools-archive/software/software/>



Verificações – exemplo BITZER 4CSL-12K

The screenshot displays the BITZER Software interface. On the left, the configuration panel shows the following settings:

- Projeto: [1] BITZER Software v6.13.0 rev2404
- Projeto: Brasil, Modo: Português, Janela: SI
- Seleção compressor: Semi-Herméticos Pistões
- Modo: Refrigeração e Ar Condic
- Refrigerante: R744 (CO2)
- Temperatura de referência: Ponto de Orvalho
- Tipo do compressor: subcrítico
- Série: Padrão
- Modo de operação: subcrítico
- Motor versão: todos
- Capac. Frigorífica: 16
- Compressor modelo: 4CSL-12K
- Incluir modelos antigos:
- Ponto de operação: Temp. Evaporação SST: -30 °C, Temp. Condensação SDT: -5 °C
- Condições de operação: Sub resfriamento líquido: 3 K, Superaquecimento do g: 30 K, Superaquecimento útil: 100 %
- Suprimento de eletricidade: Frequência de alimentação: 60Hz, Tensão de alimentação: 380V-Y (20D)

The main area shows a schematic diagram of the refrigeration system with the following temperatures:

- Evaporator: -8.0°C
- Compressor: -5.0°C
- Condenser: 70.4°C
- Sub-cooler: 0.0°C
- Expansion valve: -30.0°C

Technical data for the 4CSL-12K-20D compressor:

Compressor	4CSL-12K-20D
Etapas de capacidade	100%
Capac. Frigorífica	58,4 kW
Capac. Frigorífica *	59,2 kW
Capacidade Evaporador	58,4 kW
Potência absorvida	11,24 kW
Corrente (380V)	19,91 A
Faixa de Tensão	360-400V
Capacidade do Condensador	69,6 kW
COP/EER*	5,19
COP/EER*	5,27
Vazão em massa	731 kg/h
Temp. gás de Descarga não resfriado	70,4 °C



Aspectos de Segurança na Aplicação do CO₂



Classificação de Segurança

Classificação			Toxicidade	
			Classe A	Classe B
			menor toxicidade crônica	maior toxicidade crônica
Inflamabilidade	Classe 1	sem propagação de chamas	A1	B1
	Classe 2	menor inflamabilidade	A2	B2
	Classe 3	maior inflamabilidade	A3	B3

CO₂



Monitoramento de concentração de CO₂

/ Todas as salas de máquinas e outras áreas de trabalho que possam conter ou sofrer vazamentos de gases industriais necessitam ser bem ventiladas;

/ O CO₂ é mais denso que o ar, portanto ficará em maior quantidade próximo ao piso, aonde devem ser instalados os detectores de concentração;

/ O CO₂ é inodoro e incolor, sendo imperceptível ao ser humano, sua alta concentração sem alarme pode ser fatal.

/ É recomendado que o técnico tenha disponível seu próprio detector/sensor portátil.



Referência: Eletrofrío



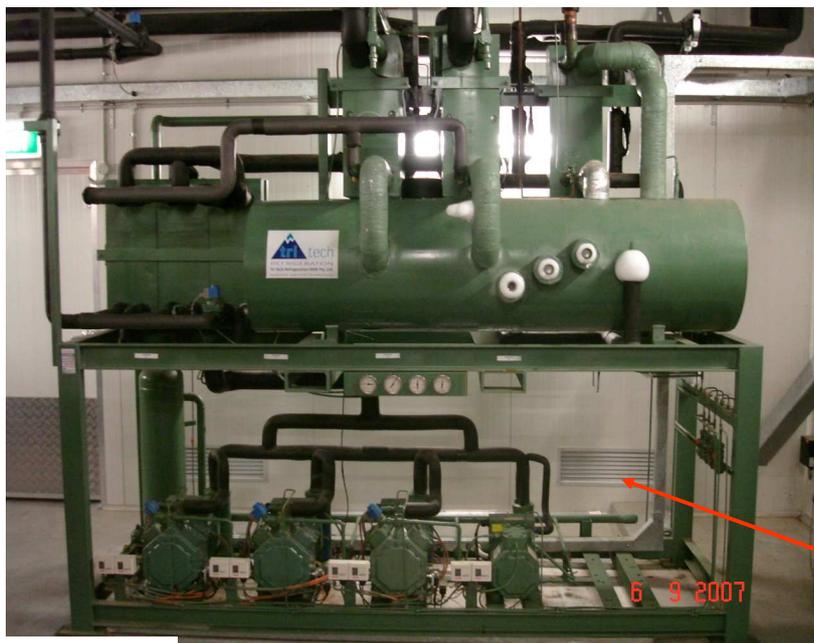
Aspectos de Segurança na Aplicação do CO₂

PPM	EFEITOS SOBREA SAÚDE
380	Valor médio na atmosfera
< 800	EN13779: Boa qualidade do ar interior
5000 (0,5 Vol-%)	Concentração máxima no local de trabalho Valor limite, 8 horas, média ponderada
10.000	Limite de exposição de curta duração 60 min, 3 vezes por turno
20.000	Aumento de 50% na taxa de respiração! Pode afetar a função respiratória & causar excitação seguida de depressão do sistema nervoso
30.000	Aumento de 100% na taxa de respiração após a exposição a curto prazo
50.000	Perigo imediato à vida ou à saúde (IDLH) "Escape", após tempo de exposição de 30 minutos, sem efeitos irreversíveis à saúde
100.000	Menor concentração letal Exposição de alguns minutos produz inconsciência
200.000	Acidentes de morte foram relatados
300.000	Resultados rápidos de inconsciência e convulsões



Aspectos de Segurança na Aplicação do CO₂

Exemplo de monitoramento de CO₂



Sensor de CO₂

Sistema de exaustão de ar

Referência: BITZER



Aspectos de Segurança na Aplicação do CO₂

Os monitores de CO₂ deverão ser instalados nas seguintes áreas:

- Salas de máquinas(fechadas), Rack-house,
- Câmaras de congelados e resfriados
- Salas de preparo
- Qualquer ambiente onde possa acumular o CO₂ (ambientes fechados)

Os monitores de CO₂ são instalados para **acionar** o sistema de exaustão de ar e/ou **alertar** a equipe de funcionários / manutenção / gerência do estabelecimento em caso de vazamento de CO₂, o pessoal de manutenção deverá tomar as ações necessárias para conter o vazamento do sistema.



Aspectos de Segurança na Aplicação do CO₂

/ Sempre use os Equipamentos de Proteção Individual adequados

- Vazamento do refrigerante pode ocorrer em estado sólido e em baixas temperaturas  queimaduras criogênicas!
- Vazamento de refrigerante com elevada energia cinética (alta velocidade das partículas)

/ Mínimos EPI's:

- Óculos de Segurança
- Luvas de Proteção
- Botas de segurança
- Camisa de manga longa



Reference: www.uvex-safety.de



Conclusão sobre Segurança na Aplicação do CO₂

- / É dever do mantenedor ter acesso a todas as informações que envolvem a aplicação e operação do sistema
- / O CO₂ apresenta suas particularidades, porém todos os gases industriais são perigosos caso ocorra vazamentos ou procedimentos inadequados de uso
- / Detectores de vazamentos devem ser previstos
- / Avaliações de risco e análises de perigo são necessárias em todos os casos
- / A segurança na operação do sistema é necessária em todas as instalações
- / O CO₂ é diferente ...
- / ...mas ele não é mais ou menos seguro que os outros refrigerantes
- / O CO₂ deve ser tratado com muita atenção e segurança

Quem semeia Segurança, colhe Qualidade de Vida!



Introdução a sistemas de refrigeração com CO₂ - BITZER 73



Contatos úteis de apoio



BTZER – Treinamentos

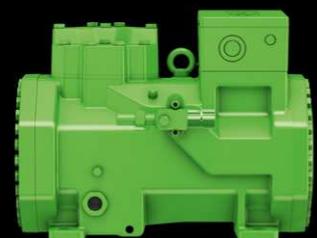
+55 (11) 4617-9124

BITZER – Assistência Técnica

+55 (11) 4617-9130

BITZER – Engenharia de Aplicação

+55 (11) 4617-9138



MUITO OBRIGADO!!!

