

Pedro Fernández

# Instalaciones frigoríficas de R-744 o CO<sub>2</sub>

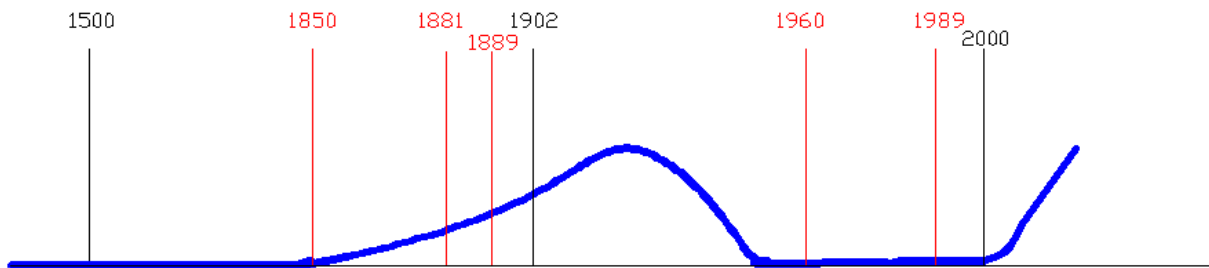


A principios de 2.006 en Europa existían menos de 10 sistemas de refrigeración por CO<sub>2</sub> en supermercados; en 2.011 existen 500. Las cifras siguen siendo bajas en otras regiones del mundo.

## 1. Historia del CO<sub>2</sub> como refrigerante

El nombre de CO<sub>2</sub> como refrigerante es R744.

El uso del R744 en el pasado se distribuye según la siguiente gráfica:



## 2. Propiedades

Se encuentra en el aire en una proporción del 0.03%

Peligroso para las personas en concentraciones superiores en el aire mayores a 5% (5000ppm)

No tiene color ni tiene olor.

El CO<sub>2</sub> es más pesado que el aire.

ODP=0 en GWP=1

El CO<sub>2</sub> no es combustible. No es inflamable.

Tiene ALTA CAPACIDAD VOLUMETRICA por lo que se diseñan las instalaciones frigoríficas con menor diámetro de tuberías en la aspiración y se pueden seleccionar compresores con una menor cilindrada a igualdad de potencia frigorífica que un compresor convencional.

Tiene aproximadamente el mismo calor de evaporación que los refrigerantes HFC's y menos que el NH<sub>3</sub>.

Baja viscosidad en las líneas de líquido y gas. Pequeñas pérdidas de presión.

Es compatible con numerosos materiales como el acero, cobre, etc,.

Bajo punto crítico (31°C)

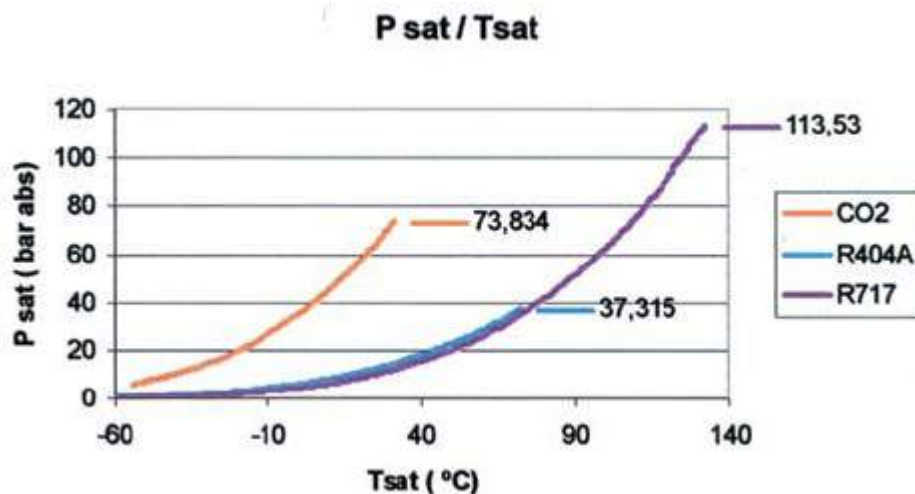
Alto punto Triple (-56,6°C)

### 3. Porqué el R744?

La sociedad actual es tendente a refrigerantes naturales como el CO<sub>2</sub> o el NH<sub>3</sub>.

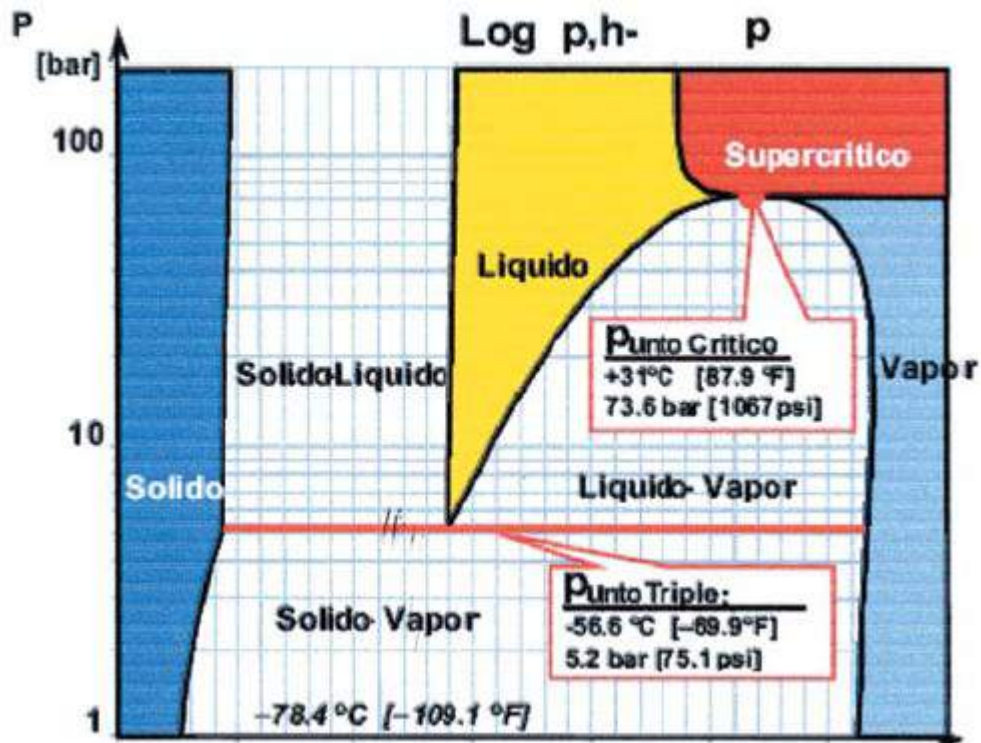
En la década de 1.930 se desarrollaron los refrigerantes sintéticos. Son refrigerantes que tienen en su composición cloro, fluor y carbono HCFC's. En Europa fueron usados con bastante frecuencia refrigerantes como el R11, R12, R22, etc,...

Comparando el CO<sub>2</sub> con otros refrigerantes utilizados habitualmente en el campo de la refrigeración comercial e industrial, se observa que la presión de saturación de éste está muy por encima del resto en cualquier rango de temperaturas, especialmente en las de condensación.



Existen puntos que limitan el proceso de “condensación/evaporación”. Por la parte baja las curvas están limitadas por el punto triple, que marca el límite entre el equilibrio líquido/vapor y el equilibrio sólido/vapor. Los procesos de evaporación y condensación se refieren a cambios de estado entre líquido y vapor

Por la parte alta las curvas se ven limitadas por el punto crítico, a partir del que no se puede distinguir entre sólido y líquido. Por este motivo **no existe condensación**.



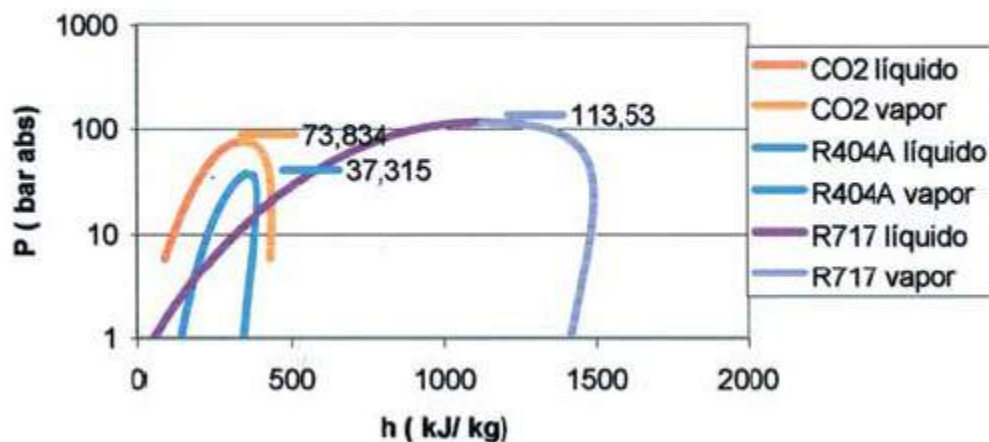
### Punto Crítico

Estado de presión y temperatura a partir del que no se puede distinguir entre líquido y vapor. Justo en ese punto, las densidades de las 2 fases son iguales. Si se sigue aumentando la presión o la temperatura, el fluido se encontrará en estado supercrítico.

### Línea triple

Franja en la coexisten las 3 fases. Cabe destacar la elevada presión a la que se encuentra ésta línea para el CO<sub>2</sub> (5,2 bares abs.), encontrándose en el camino de cualquier expansión que se produzca hasta presión atmosférica (1 bar abs.)

### Curvas de Log p- h



Comparando las zonas de cambio de fase para los diferentes refrigerantes se observa:

1.- La presión de la línea triple para el CO<sub>2</sub> es mucho más elevada que para el R404A o el amoníaco. Para estos últimos, está situada por debajo del vacío relativo (1 bar abs.)

2.- La entalpía de evaporación para el amoníaco en general mucho más elevada.

En 1.987 el protocolo de Montreal establece que refrigerantes conocidos como CFC's y HCFC's tienen que dejar de fabricarse por el rápido deterioro que la fuga de éstos causa a la capa de ozono. Para ello se propone sustituirlos por refrigerantes libres de Cloro que no degraden la capa de ozono. Pero las fugas de estos refrigerantes tienen un efecto negativo en el medioambiente. El efecto invernadero de estos refrigerantes, por kg es miles de veces mayor que el efecto invernadero del CO<sub>2</sub> producido por la combustión de combustibles fosiles.

A modo de ejemplo la fuga de 1kg de R407C tiene el mismo efecto invernadero que el CO<sub>2</sub> emitido en la combustión de 900m<sup>3</sup> de gas natural.



El CO<sub>2</sub> no afecta la capa de ozono. Es una sustancia natural.

**Tabla GWP-ODP con valores para varios refrigerantes**

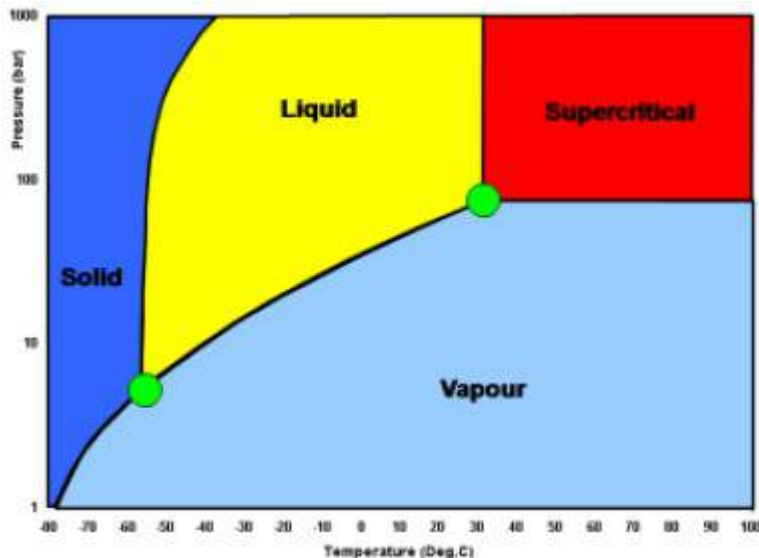
Refrigerante	ODP Ozono	GWP Ef Invernadero
R12 CFC	1	10720
R22 HCFC	0,06	1780
R134a HFC	0	1300
R404A HFC	0	3784
R407C HFC	0	1653
R410A HFC	0	1975
R507A HFC	0	3850
R744 CO <sub>2</sub>	0	1

## 4. El CO<sub>2</sub> y el medioambiente

El gas CO<sub>2</sub> que se produce en el planeta es el responsable del calentamiento global y efecto invernadero. El CO<sub>2</sub> que utilizan las plantas de refrigeración es el que se obtiene del que ya se ha producido y que se puede encontrar como producto de la combustión de los combustibles fósiles, en diversos procesos de fermentación y en la elaboración de ciertos productos químicos como la obtención del amoníaco.

Desde el punto de vista medioambiental el R744 es uno de los mejores refrigerantes. Otros refrigerantes naturales como el amoníaco, etano, propano tienen algunos inconvenientes como su toxicidad o inflamabilidad que podrían resultar peligrosos en instalaciones industriales.

## 5. Diagrama de fases (p -T)



Punto Triple: **-56.6°C / 5.2bar**      Punto crítico: **31°C / 73.6 bar**

Cuando la presión disminuye por debajo de 5.2bar se forma **hielo seco (gas+sólido)**

## 6. Carbonato de amonio

En refrigeración con CO<sub>2</sub> se consideran sistemas en cascada los compuestos por dos instalaciones frigoríficas independientes, una de CO<sub>2</sub> y otra de amoníaco, donde la evaporación de una es la condensación de la otra.

Hay que **evitar** cualquier contacto del CO<sub>2</sub> con el NH<sub>3</sub> que formarían **carbonato de amonio**. Es un polvo blanco y pegajoso que pueden causar obstrucciones. Con calor el carbonato de amonio se consigue separar en sus elementos iniciales pero es muy difícil extraerlo de una instalación frigorífica.

## 7. Ácido carbónico

La entrada de aire con cierto grado de humedad en el interior de una instalación frigorífica puede oxidar el interior de las tuberías de la instalación. En el interior la presencia de agua y CO<sub>2</sub> formarán

ácido carbónico.

Se tiene que garantizar la ausencia de humedad en el interior de las tuberías frigoríficas.

En función del tipo de tuberías, la reacción con el aire húmedo produce:

Acero + Agua = Oxidación

Aceite mineral + oxígeno = Ácido orgánico (se pierden props del aceite) + agua .

Aceite Ester + agua = Ácido orgánico + alcohol.

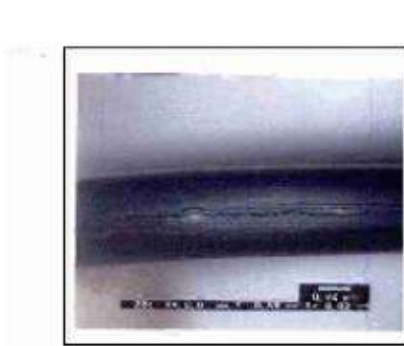
## 8. Elastómeros

En comparación con otros gases como N<sub>2</sub>, He, la solubilidad del CO<sub>2</sub> es mayor en alta presión.

Este hecho produce que los elastómeros en general se dañen muy rápido y no sellen adecuadamente.

Las altas presiones y la falta de sellado de las juntas posibilitan el riesgo de explosión por rápida expansión del gas refrigerante CO<sub>2</sub>.

Algunos ejemplos del deterioro de los elastómeros:



## 9. Calidad del CO<sub>2</sub>

La puerza del CO<sub>2</sub> es muy importante porque son muchos los daños que causan las bajas calidades.

Algunos ejemplos:

La presencia de agua puede transformarse en hielo y puede causar taponamientos de las válvulas de expansión y problemas en las bombas de rabiado. Puede reaccionar con el CO<sub>2</sub> reduciendo su pureza y por tanto sus propiedades como fluido frigorífico.

La presencia de amoniaco en instalaciones de cobre para CO<sub>2</sub> puede causar la corrosión de las tuberías.

La presencia de otros gases como O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> pueden depositarse en los intercambiadores de los sistemas en cascada produciendo diferencias de altas temperaturas indeseables por lo que no se consiguen temperaturas de evap. uniformes.

### Grado 4.0

Se considera el 99.99% puro.

Tiene menos  
300ppm de Agua  
3ppm de NH<sub>3</sub>  
50 ppm de O<sub>2</sub>

### Grado 3.0

Se considera 99.90%

### ¿Qué grado es recomendable usar?

Para pequeñas instalaciones se recomienda el grado 4.0

Para instalaciones industriales puede ser adecuado el grado 3.0

## 10. Concentraciones de CO<sub>2</sub> en el aire

Con la inhalación del CO<sub>2</sub> en el aire, el nivel de pH del cuerpo se mantiene bajo control, para asegurar un correcto funcionamiento del cerebro.

Altas concentraciones de CO<sub>2</sub> llevan a la persona a una hiperventilación (aumento de la frecuencia de respiración), y cierto entumecimiento.

3,00%	30ppm	Hiperventilacion
5,00%	50ppm	Asfisia
10,00%	100ppm	Coma
>30%		Muerte inmediata en altas []

## 11. Mantenimiento seguro. Precauciones

Hay que tener en cuenta las altas presiones de trabajo en las instalaciones de CO<sub>2</sub>.

### Purgado

Siempre purgar las instalaciones al aire libre.

Nunca sacar CO<sub>2</sub> líquido a la atmósfera.

Siempre llevar un manómetro de vacío para asegurarse de que la línea frigorífica se encuentra vacía de refrigerante.

### Drenaje

Comprobar que la línea frigorífica no tenga un bloque solido de CO<sub>2</sub>.

Evitar el contacto entre una línea caliente y un bloque de CO<sub>2</sub> de hielo seco.

El contacto con CO<sub>2</sub> en estado sólido puede causar quemaduras.

### **Rellenar una instalación desde un bidón (canister)**

Asegurarse de que el gas canister y el refrigerante son de alta calidad

La tubería que se utilice para el relleno tiene que resistir presiones mayores a 90bar ( en el caso de los sistemas transcriticos)

Rellenar con gas a presiones por **encima de 5bar**.

### **Rellenar una instalación desde un tanque cisterna**

Verificar que la presión del tanque se encuentra alrededor de 20bar.

Rellenar con gas a presiones por **encima de 5bar**.

## **12. Aspectos de Seguridad**

Existe la PED (Pressure Equipment Directive) 97/23/EC directiva europea. Fue ley el 30/05/2002.

### ***Alcance***

Es **obligada** en todos los equipos en los que exista una **presión superior a 0.5bar**.

Los equipos tienen que tener certificado CE.

### ***Excepciones***

Aerosoles, tuberías de centrales de calor, dispositivos médicos, fontanería, equipos para uso nuclear, aviones, etc,...

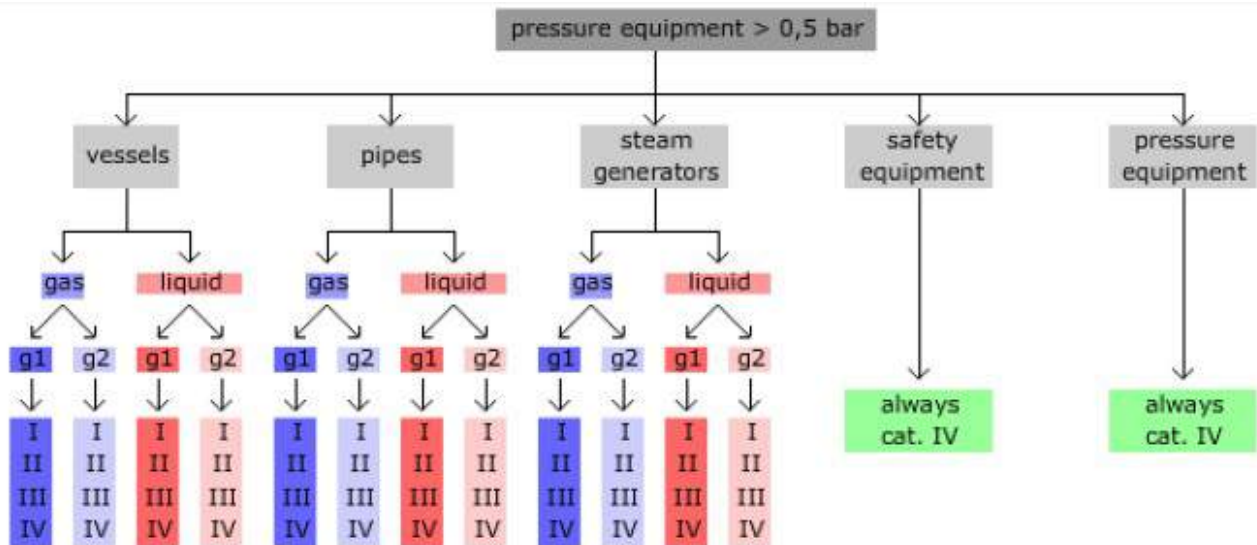
### ***Clasificación***

Se clasifican en cuatro categorías de riesgo numeradas de I a IV.

Cada categoría se encuentra a su vez dividida de acuerdo a la situación y naturaleza de la sustancia contenida en el aparato. La fase puede ser líquida o gas.

La naturaleza de la sustancia se encuentra dividida en dos grupos: Sustancias peligrosas (g1) y otras sustancias (g2). Una sustancia pertenece al g1 cuando es explosiva, inflamable (ligera o muy ligera),tóxica u oxidante.

Un diagrama con la clasificación se muestra a continuación:



### 13. Directiva PED y el R744

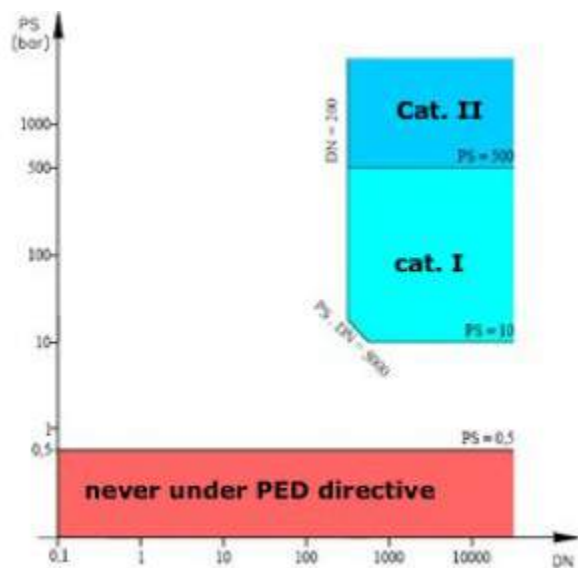
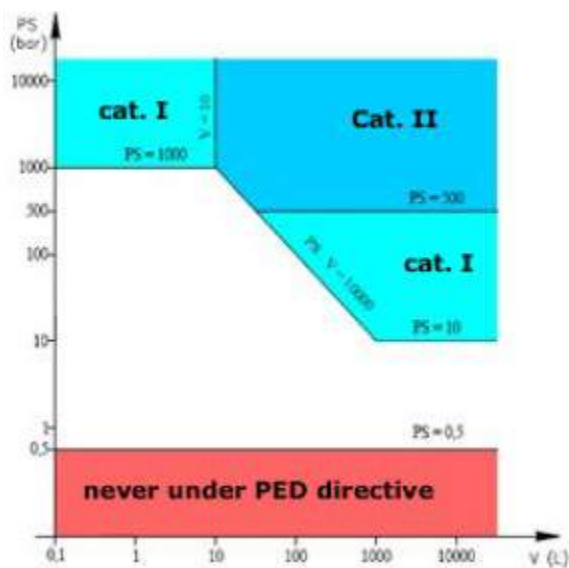
El refrigerante R744 pertenece al grupo de las sustancias no peligrosas g2.

La categoría de una instalación se determinará por el mas alta categoria de riesgo de los elementos individuales de los que se compone la planta. Generalmente la instalación se clasificará por la clasificación obtenida en el depósito de refrigerante.

Para conocer la categoria a la que pertenece un componente se va a la siguiente gráfica que muestra la presión frente al volumen

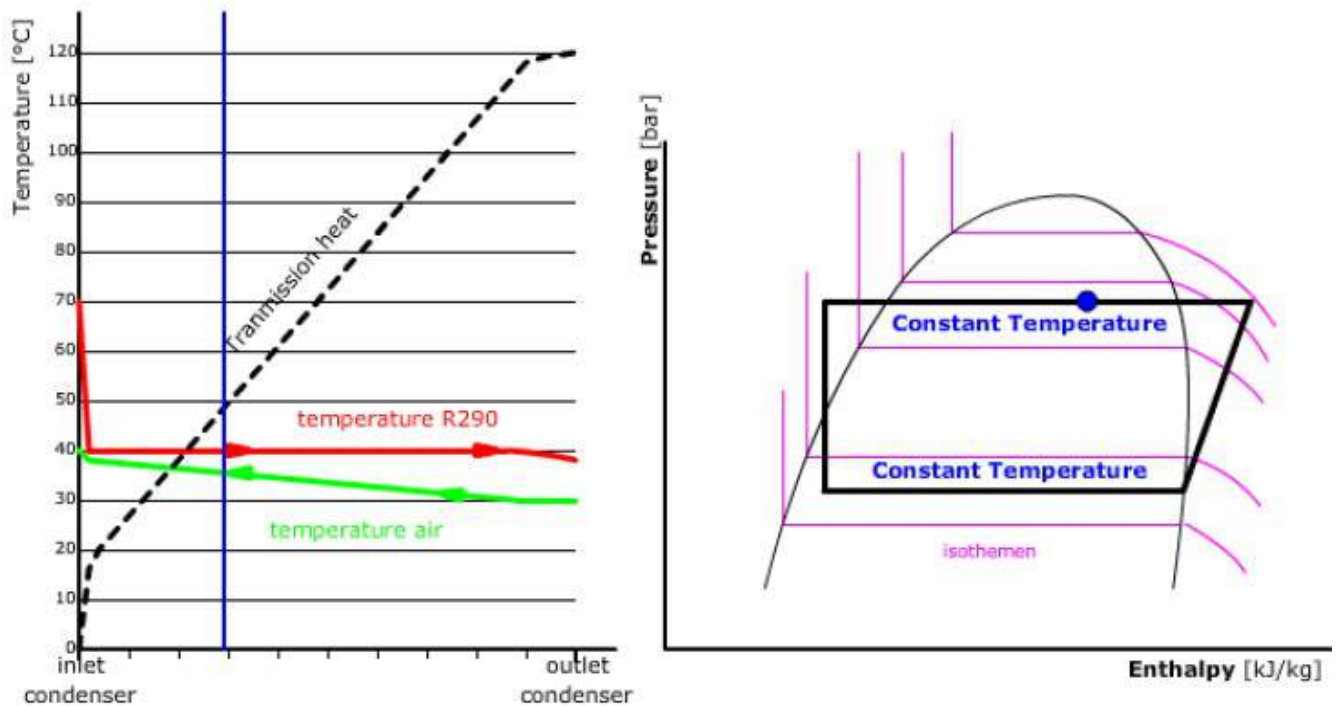
Grafico de la izda. Deposito para contener una sustancia del grupo 2.

Gráfico de la dcha. Tuberías para contener una sustancia del grupo 2.



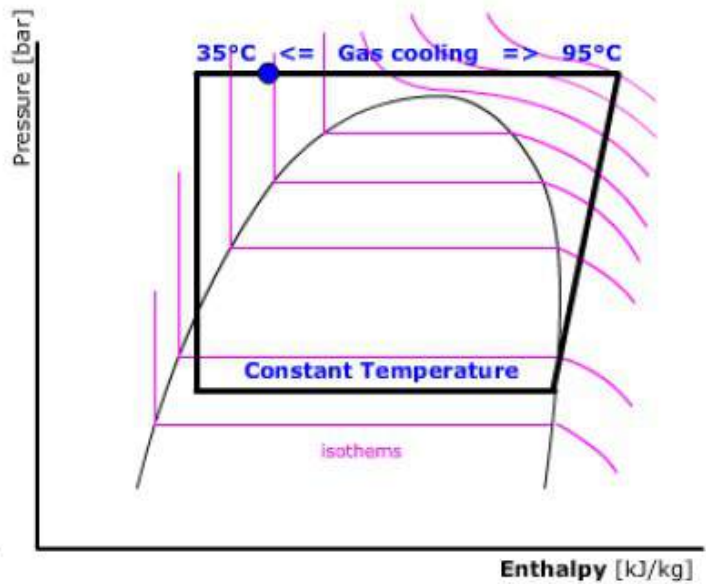
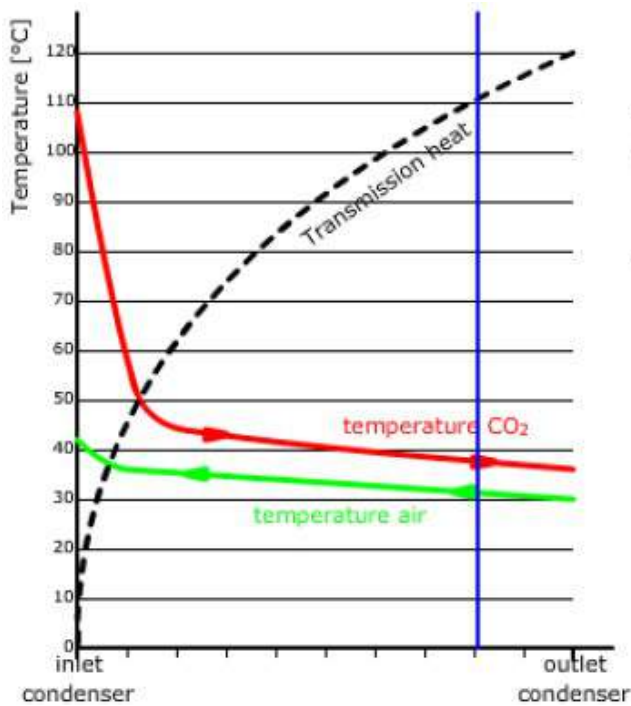
## 14. Evolución de la temperatura en el condensador

### En el caso de R290



Se observa como pierde temperatura de 70 hasta 40°C el R290 en los primeros pasos del condensador. Luego a temperatura constante el R290 cede calor al aire que se calienta y se produce el cambio de estado del R290. Finalmente con todo el refrigerante en estado líquido se produce subenfriamiento pequeño.

### En el caso de R744



El R744 entra en el condensador como gas recalentado a **95°C**. En los primeros tramos y a presión constante pierde temperatura pasando de 95°C a 50°C. A continuación se produce la transferencia de calor con el aire, cambiando de estado el R744 que pasa a líquido. Esto se produce, a la vez, con disminución de la temperatura que pasa de unos 50°C a 35°C en la zona de supercriticalidad.

## 15. Diseño

Se tiene en cuenta para el diseño de gas coolers/condensadores:

Pérdidas de carga en el evaporador inferiores a 1bar

Las temperaturas del gas en el interior del gas cooler se tienen que encontrar entre 80 -100°C

Las tuberías empleadas en gas coolers para R744 son mas pequeñas que las que se instalan en refrigerantes convencionales.



## **Tipos de compresores**

### ***Compresores abiertos***

No necesitan refrigeración externa.

El refrigerante no se calienta absorbiendo el calor del motor eléctrico de accionamiento del compresor.

Buen COP.

### ***Herméticos***

No necesitan refrigeración externa

El refrigerante coje entre 2 y 5K de recalentamiento antes de la entrada del compresor

Mayor temperatura de descarga.

Menos sensibles a la entrada de líquido.

Pueden trabajar con las bombas de calor.

### ***Semiherméticos***

Necesitan aceite para refrigerar el calor del motor y lubricar.

Poco sensibles al líquido.

Menores temperaturas de descarga que los herméticos.

Pueden trabajar con bombas de calor

### ***Compresores de tornillo***

Porque trabajan a altas presiones grandes fugas internas pueden aparecer.

### ***Scroll***

Muy mala eficiencia por la costante presión del compresor.

## **16. Evaporadores**

Si existía un evaporador con **R134a** y se sustituye por **R744** se producen unas pérdidas de capacidad de aproximadamente **3,5%**

Las pérdidas de carga son muy pequeñas porque el refrigerante lleva mucha velocidad a su paso por el evaporador.

Si un evaporador para **R134a** tiene un diámetro de **8,5mm**, un evaporador para **R744** tiene un diámetro de **4,8mm**.

La capacidad de los evaporadores con R744 se encuentra entre un 25 y un 30% más alta que con el R134a y es posible trabajar en la misma temperatura de evaporación.

La mayor capacidad del R744 puede ser usada para permitir trabajar al sistema en una más alta

temperatura (aprox. entre 3 y 3.5K mayor)

## 17. Intercambiador de calor

El intercambiador transfiere calor del refrigerante líquido a la salida de la condensadora, que lo subenfria al refrigerante gas en la aspiración del compresor, que lo recalienta y asegura que no llegue al compresor partículas líquidas de refrigerante.

Su colocación mejora el COP.

## 18. Silenciadores

La densidad del R744 es entre 4 a 5 veces máyor que cualquiera de los refrigerantes convencionales.

Parece ser que en refrigeración por aire el nivel de ruido puede ser alto. Esto lleva a usar silenciadores.

Me quedo sin saber donde se colocan.

## 19. Accesorios

### *de compresión*

Faciles de usar

Caros

Se necesitan tuberías sin costuras

Alta posibilidad de fugas



### *de soldadura eléctrica*

Pequeña posibilidad de fugas

Se consume tiempo.

No se usan en refrigeración tradicional.



### *De soldadura oxi-butano*

Pequeña posibilidad de fugas

Bien conocidos y totalmente usados en refrigeracion

En pequeñas dimensiones son faciles de trabajar.

Se pueden usar combinándolos con tuberías de soldadura por arco

Es necesario entre **35..55% de plata** en la soldadura.



## 20. Parada

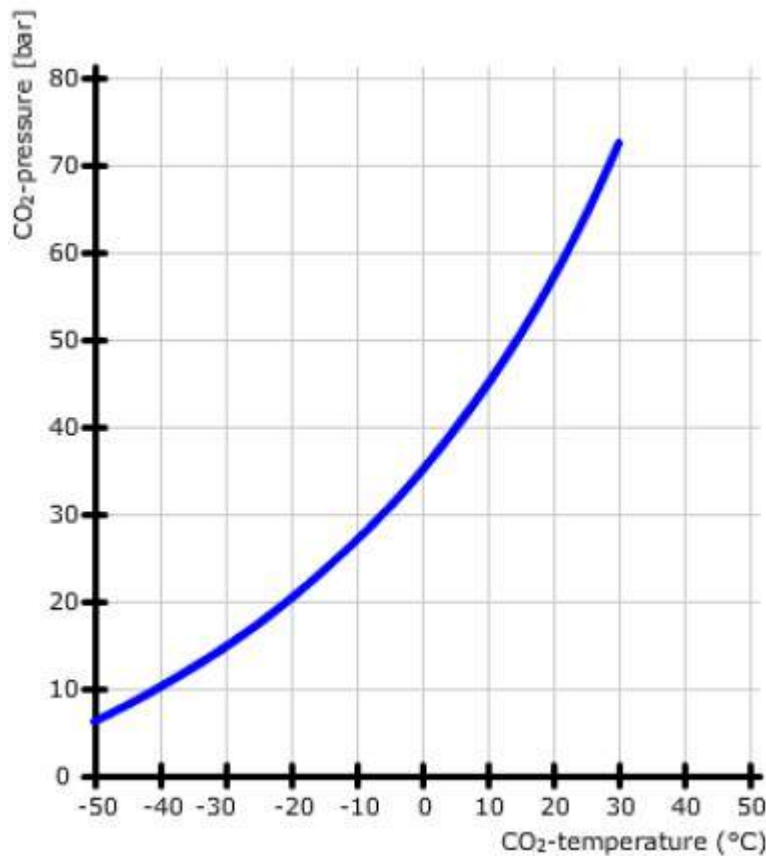
Si la presión aumenta la temperatura también aumenta. La presión de R744 puede aumentar enormemente.

Porque las tuberías en la zona de baja presión de una instalación de R744 transcritica son de cobre y esto puede ocasionar problemas si el sistema comienza a parar.

Cuando el sistema falla o para el R744 comienza lentamente a calentarse hasta la temperatura ambiente, pero claro en la gráfica se observa que para una temperatura ambiente de 30°C el circuito se encontraría a más de 70bar y como la zona de baja presión para estos circuitos es de cobre, habría problemas de roturas del cobre. Basta observar en el libro del cobre como la presión de trabajo de una tubería de 1" con un espesor de 1,5 tiene una presión de trabajo de 63bar la cual es inferior a la que se podría alcanzar.

La zona de alta presión resiste sin problemas estas presiones puesto que se encuentran realizadas de acero o RVS. Pero la zona de baja presión que es de cobre no resiste.

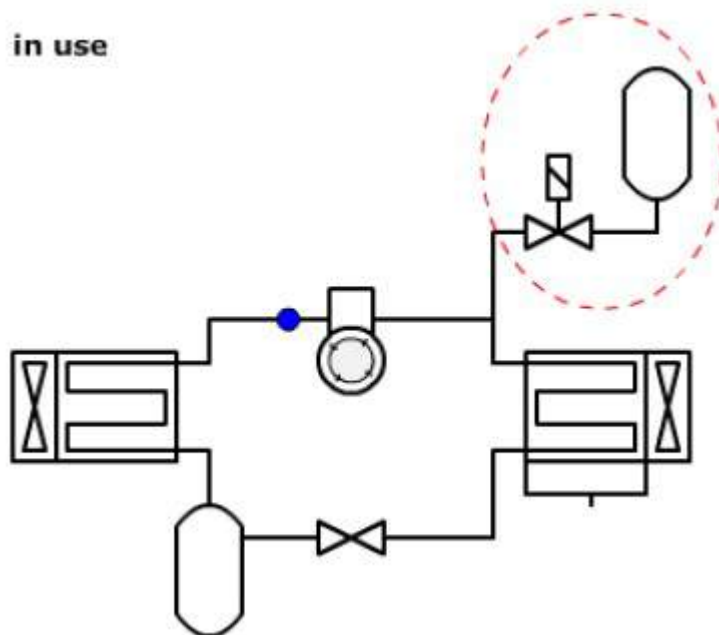
Algunas soluciones se encuentran en instalar en la zona de baja presión un deposito que expanda el refrigerante. O bien una alimentación separada de refrigeración para mantener la temperatura del R744 en el sistema. O bien una automática válvula de alta presión.



### ***Deposito de expansión***

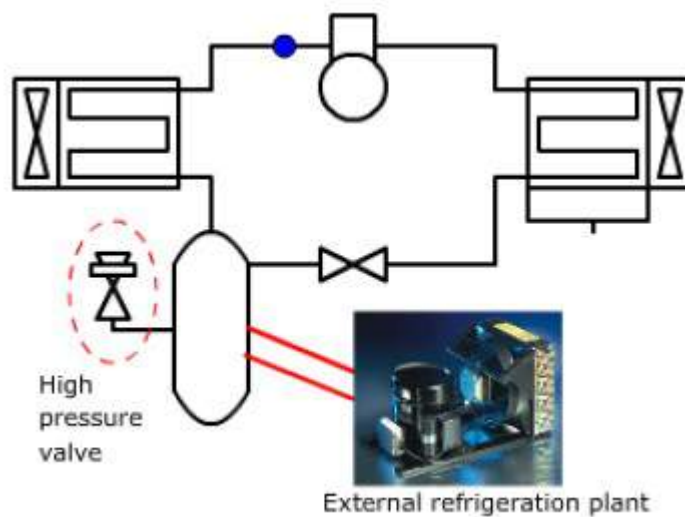
Se coloca en la línea de aspiración del compresor. A la entrada del deposito una válvula motorizada se encarga de detectar que la instalación ha parado, y que la presión sube y abrirá progresivamente el paso del refrigerante para su expansión.

En la arrancada de la instalación todo el refrigerante contenido en el deposito será devuelto así que éste se encontrará vacío mientras la instalación funcione.



### **Refrigeración exterior del R744**

Es otra solución para el aumento de presión en transcriticas instalaciones grandes industriales. Cuando la instalación para arranca una pequeña instalación frigorífica con refrigerante convencional que se encarga de mantener frío el R744 en todo momento impidiendo que aumente su presión hasta alcanzar la temperatura ambiente.



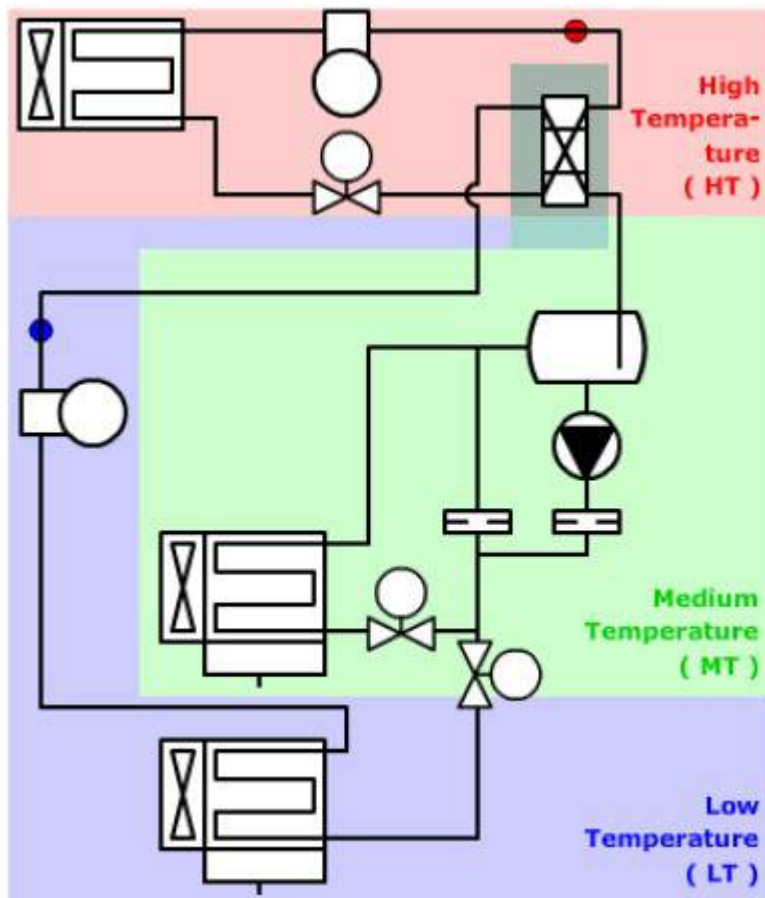
### **Válvula automática de alta presión**

El R744 escapa a través de esta válvula y de ese modo la presión decrece. Antes de que la instalación entre de nuevo en servicio, se tiene que bombear R744 para reemplazar lo que se escapó.

Recomendado en supermercados o instalaciones medias.

# Sistemas

## *Bomba de circulación*



En alta temperatura (HT) se emplean la familia de refrigerantes HC R600, R290, o bien HFC R134a.

En media (MT) y baja (LT) temperatura (25-40bar) se emplea el R744.

La **condensación del R744 se realiza a -10°C**

En MT y LT existe expansión directa y bomba de circulación.

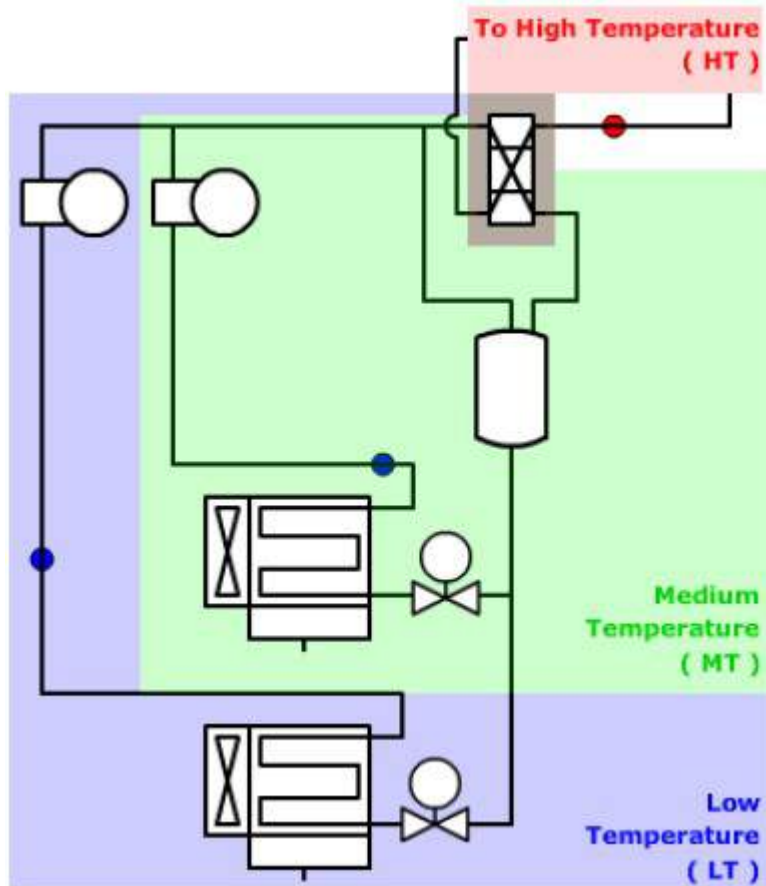
La bomba es cara y bombear R744 no es fácil.

Es un tipo de sistema neutral con respecto al consumo de energía pero **la bomba gasta el 10% de la energía que se consume.**

Las bombas son un nuevo componente de la instalación frigorífica y causan complicaciones al comienzo de la puesta en funcionamiento.

Los problemas más frecuentes son los relativos al diseño de las tuberías en la zona del intercambiador de calor de alta temperatura.

## Compresión de gas



El ciclo de R744 se encuentra en media (MT) y baja (LT) temperatura. Son de expansión directa.

40/25bar sistema

El circuito de alta temperatura (HT) es R410A pero puede emplearse refrigerantes de la familia HC o bien HFC's.

Relativamente alto consumo de energía. Mala eficiencia del compresor y baja relación de presión

Bajos costes de servicio.

Expansión directa en LT y MT

Estos sistemas usan componentes bien conocidos en la refrigeración industrial.

Problemas de ajustes en los sistemas construidos.

# Salmuera



10kW en LT y 21kW en MT.

Temperatura de diseño 32°C aire, +2°C MT aire y -18°C LT aire.

Propano en HT o bien otros HC o HFC's.

-14°C evaporación en HT.

-32 / -10°C en el circuito de R744.

Circuito de salmuera -8/-4°C.

Es un tipo de sistema que ha resultado bien al probarlo.

Se producen problemas en el control del intercambiador de salmuera.

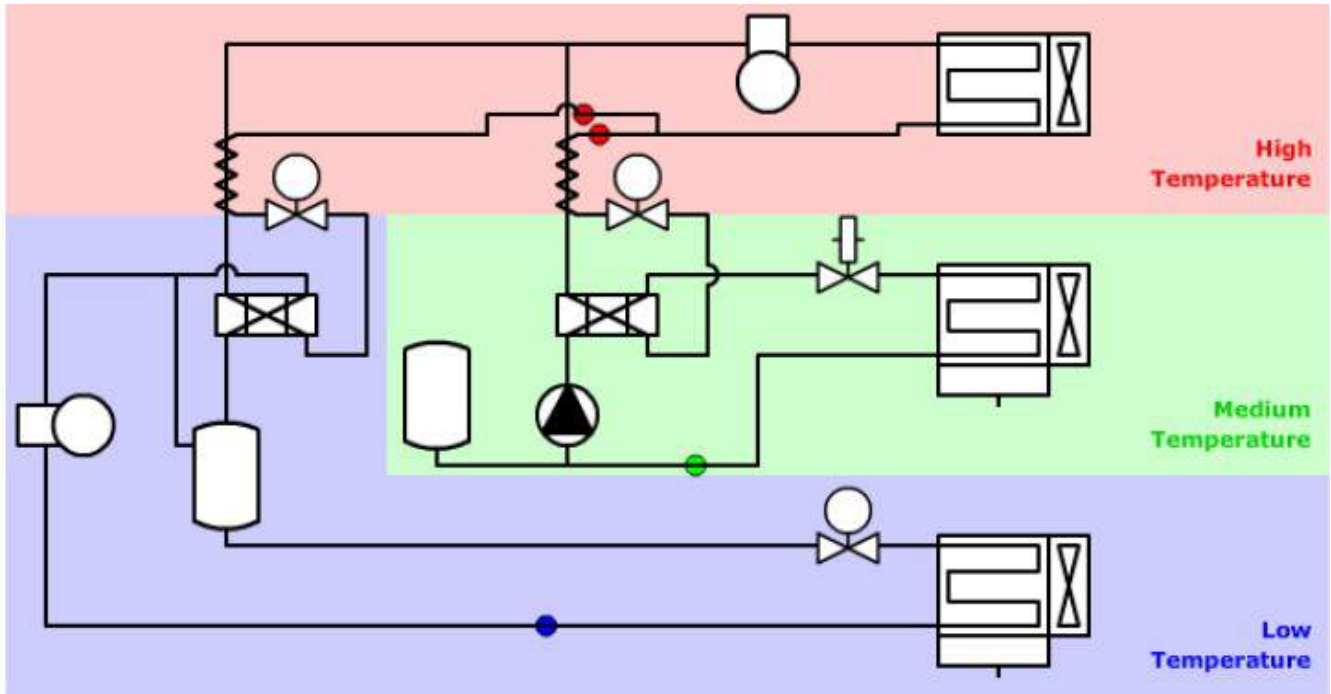
Alto coste de servicio de estos sistemas.

Buen resultado con R744 a LT.

Consumo inferior a la media.

La familia de los HC pueden aumentar el desgaste del compresor y la parte eléctrica de la instalación según legislación, resulta cara.

## ***Sistema combinado de salmuera y cascada***



Usan propano en HT u otro HC o HFC.

Usan salmuera en MT.

Usan R744 en LT.

## ***Sistemas con circulación térmica***



Es un sistema en cascada que usa R744 como refrigerante secundario y no usa una bomba de circulación. El R744 circula por la diferencia de presión en los dos depósitos del sistema.

El sistema es una alternativa a los sistemas industriales y comerciales, sistemas de aire acondicionado, sistemas con expansión directa, chillers.

Algunas ventajas:

No existe cavitación en la bomba puesto que no hay bomba.

Bajo consumo de energía.

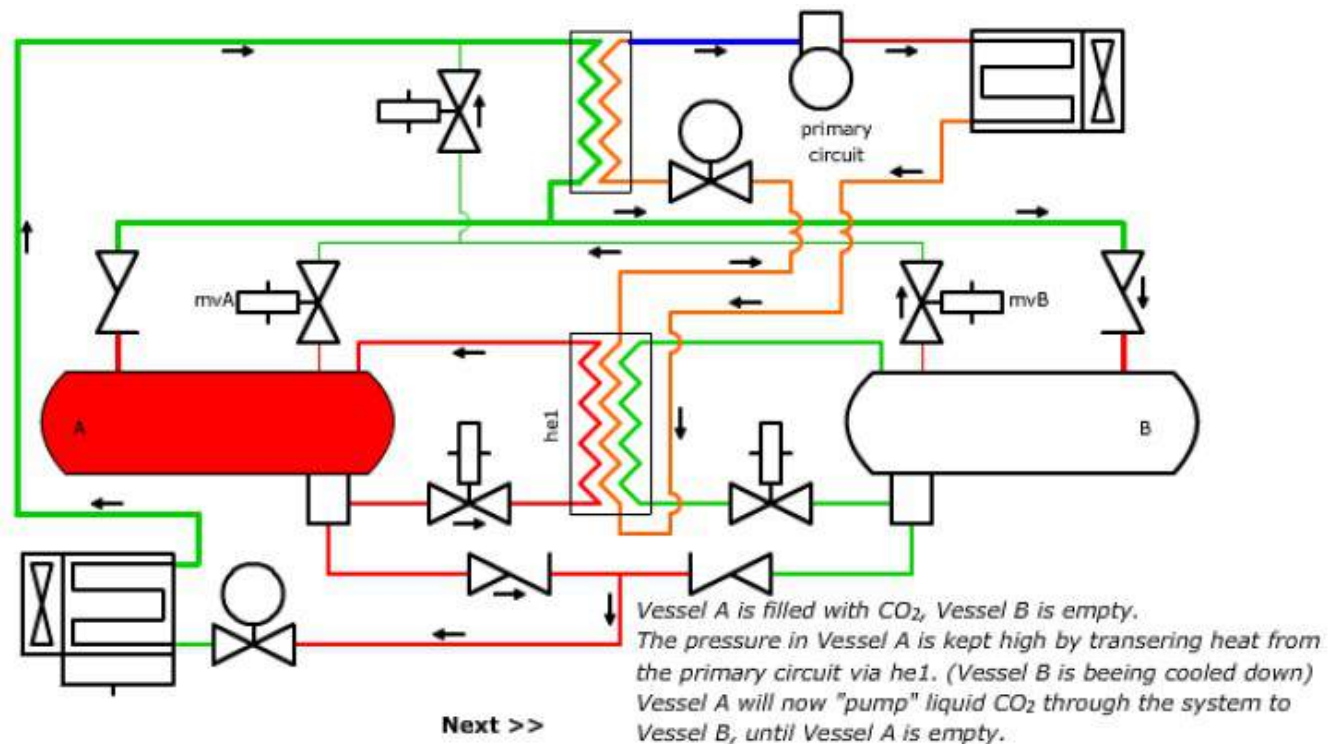
Sin aceite. Se produce una optima transmisión de calor en el intercambiador de calor.

El sistema consiste en depósitos tuberías e intercambiadores. El coste de mantenimiento es bajo.

Cualquier refrigerante puede ser usado como primario, amoníaco, HFC's, propano, etc,...

Muy amigable con el medioambiente puesto que se necesita una pequeña cantidad de refrigerante primario que necesita compresor.

## Operación



HC or HFC sistemas en HT

MT y LT con R744 en el circuito termico con los dos depósitos.

El sistema se instala para LT, MT y AC.

La energía necesaria para bombear el R744 se obtiene del subenfriamiento del líquido en el sistema HT.

La temperatura de condensación tiende a encontrarse ALTA durante el invierno.

BAJO consumo de energía un 10% menos que una instalacion convencional.

BAJO coste de servicio pero se recomienda entrenamiento y familiarizarse con este tipo de instalaciones. El coste para servicio es el mismo o mas bajo que en el caso de HFC's.

Existe poca información de este tipo de sistemas en funcionamiento.

Se estima entre 20-25% de fugas en un año (10-15% con HFC's).

Normalmente no hay subenfriamiento antes de la VE en los sistemas de R744. En el diseño la VE tiene 2-4K.

Seleccionar válvulas 1-2 tamaños más grandes que la que se calcule.

## ***Errores Comunes en sistemas de circulación térmica***

### **Bombas y cavitación**

Bombear R744 es una dificultad añadida por las propiedades del CO<sub>2</sub>. (dt/dp)

Normalmente el subenfriamiento comienza en la línea de líquido antes de la entrada a la bomba.

Se tienen que usar bombas especiales para R744

Se tienen que usar rompedores del Vortex en el deposito (received)

Aislar la tubería de la bomba.. El R744 es muy sensible al aumento de calor.

Se tienen que conseguir bajas velocidades en las tuberías de la bomba (<0.3m/s)

Usar la máxima altura posible para conseguir el máximo subenfriamiento.

### **Circulación propia del fluido en el circuito**

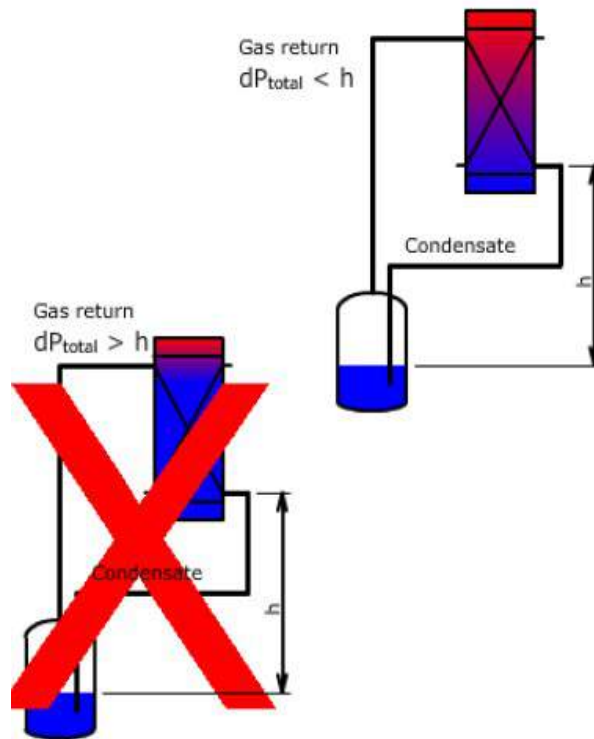
El gas desde el deposito circula al intercambiador de calor de cascada, donde condensa. El flujo de gas proviene de las cámaras de media temperatura (gran capacidad). El liquido condensado regresa al deposito.

Si el gas en la línea de equilibrado es demasiado poco el liquido no puede drenar y el intercambiador de calor de cascada, se llena de liquido.

Síntomas: Baja temperatura de evaporación en sistemas de HT.

Pérdida de capacidad

Fluctuación en la temperatura de evaporación.



## El IdeC en sistemas transcritos

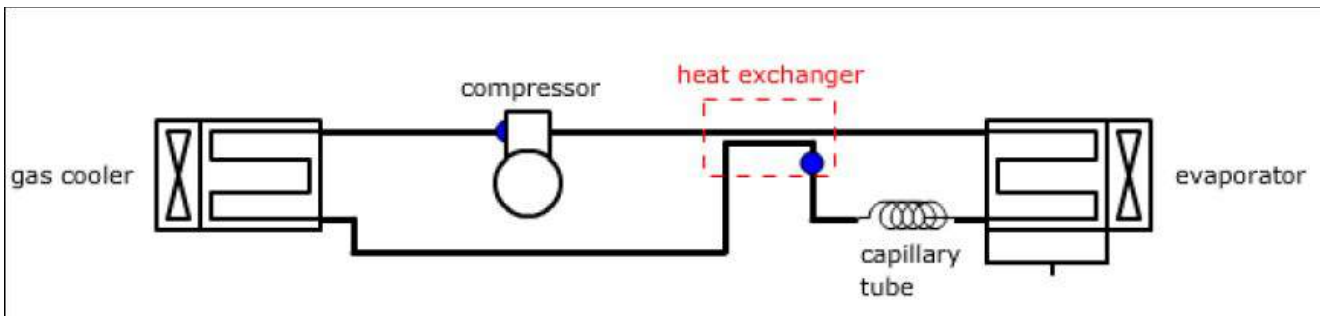
Proporcionando un intercambio de calor entre la línea de succión y la línea de líquido, el rendimiento del sistema puede mejorarse.

- Usando capilar

Si se usa un capilar como dispositivo de expansión, el intercambiador de calor puede hacerse por soldadura al tubo capilar (o a una parte del tubo capilar) que intercambie calor a la tubería de succión.

Este sistema permite de pequeños a medios cambios en la temperatura ambiente, pero ello requiere una capacidad fija. Es decir, los cambios de capacidad no son posibles porque la alta presión en el sistema no puede ser comprobada (usando un tubo capilar) y sin embargo el sistema permanece trabajando a la máxima capacidad.

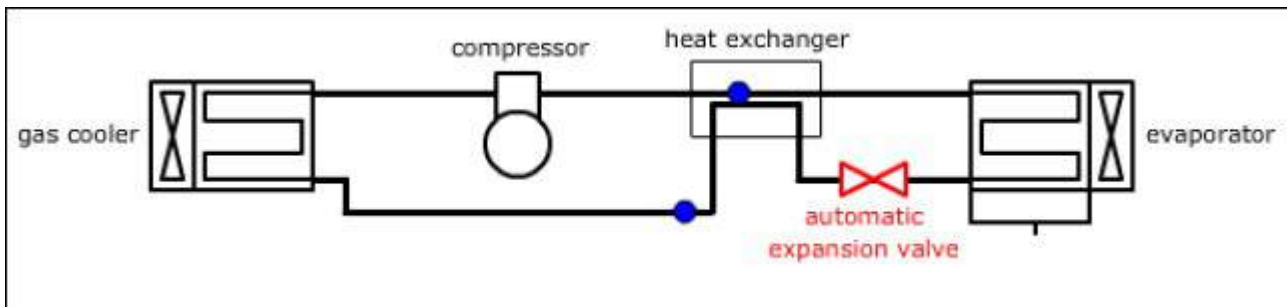
Cuando cambian las condiciones de operación (ej: la temperatura ambiente, la temperatura de evaporación durante un pull down del refrigerante en una vitrina) la distribución del refrigerante entre los componentes cambiará. Entonces la presión de condensación también cambiará. Para aplicaciones que requieren una alta variabilidad en las condiciones de operación que debe satisfacer la capacidad y los requerimientos de eficiencia bajo la variación de las condiciones de operación, se tiene que usar un control de válvula en la alta presión. Este puede ser o mecánico o eléctrico.



- usando válvula de expansión

La válvula de expansión automática es un dispositivo que detecta la entrada de presión (presión de la condensación) y abre o cierra de acuerdo a un set point de la presión de entrada.

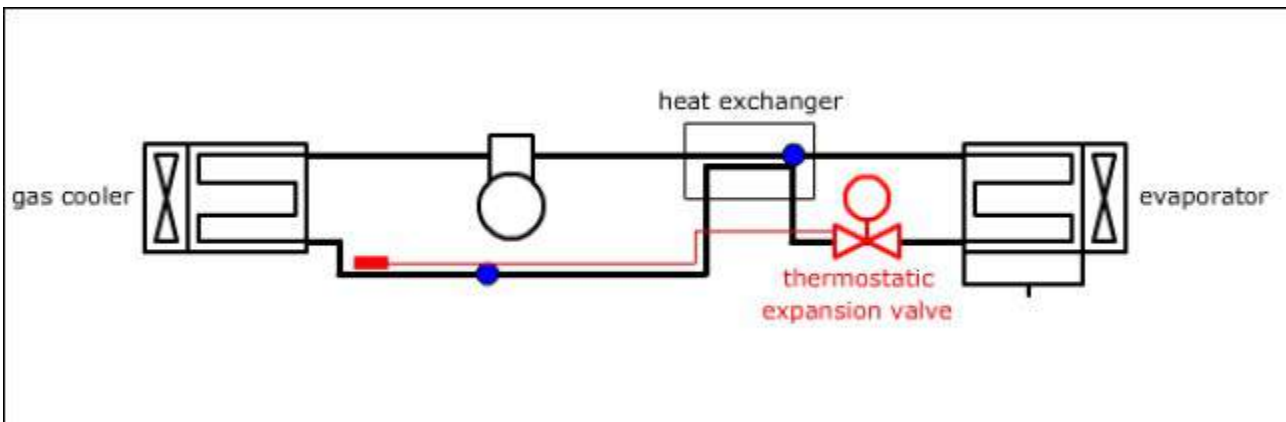
Puede ser usada en sistemas que operan con pequeñas variaciones en la temperatura ambiente pero con requisitos de capacidad o eficiencia en dos o más puntos a valorar.



- usando válvula de expansión termostática

Usa un bulbo tradicional, relleno de una mezcla de un gas/liquido, para detectar la temperatura de salida del refrigerante en la condensadora quedando controlada la presión de entrada (la de condensación)

Puede usarse en sistemas que operan con grandes variaciones de las condiciones ambientales pero con requisitos de capacidad o eficiencia en dos o más puntos a valorar.

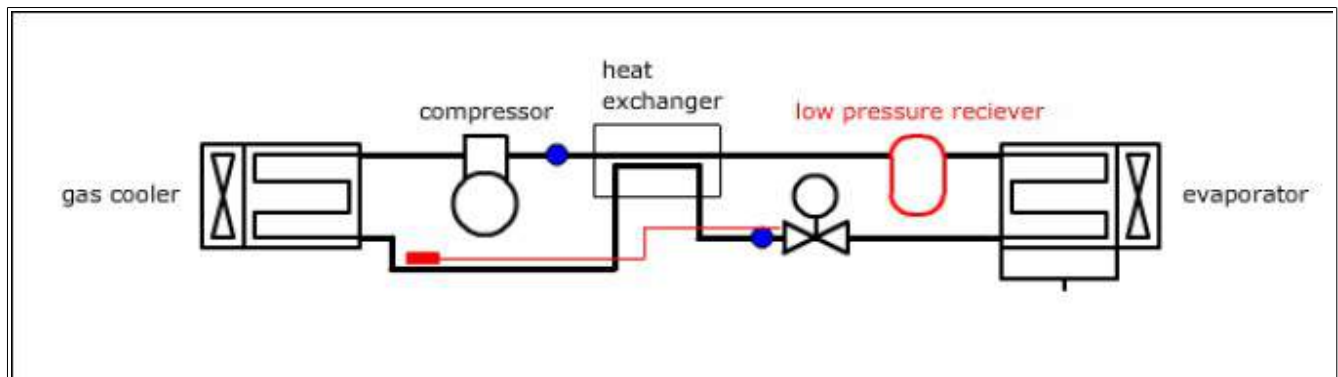


- Válvula de expansión termostática y recipiente en baja presión

El rendimiento de un sistema de R744 transcrito, con una válvula de expansión termostática puede mejorarse instalando un depósito en la zona de baja presión entre el evaporador y el intercambiador de calor.

Este depósito se utiliza como un almacén o buffer del que aspirar el refrigerante.

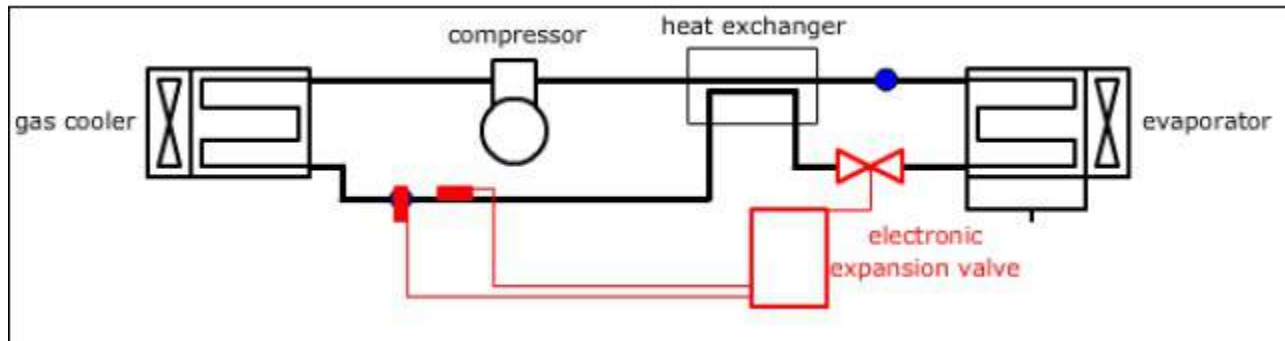
Se tiene en cuenta que el aceite no debe acumularse en este depósito. Esto puede evitarse mediante la colocación de una tubería que transporte el aceite (con una pequeña cantidad de refrigerante) desde el depósito directamente hasta el intercambiador de calor. Esto se puede conseguir con un controlador electrónico.



- Válvula de expansión electrónica

Se puede usar para un completo control de las variaciones del sistema. El regulador de la válvula puede recibir las señales de diferentes puntos de temperatura y presión.

Puede usarse en sistemas donde se producen grandes cambios de las condiciones ambientales y donde la capacidad necesite demasiados puntos de selección que podrían trabajar bajo cualquier condición.



- Resumen

	Capilar	Automatica	Termostática	Electrónica
Ventajas	Simple y segura	Adaptada a variaciones de capacidad	Adaptada a variaciones de temperatura ambiente	Completo control y un sistema optimizado
Desventajas	Optimizado para concretas circunstancias	Solo tiene un set point y no responde a los cambios de la temperatura ambiente	No es óptima para capacidad variable	Compleja y cara



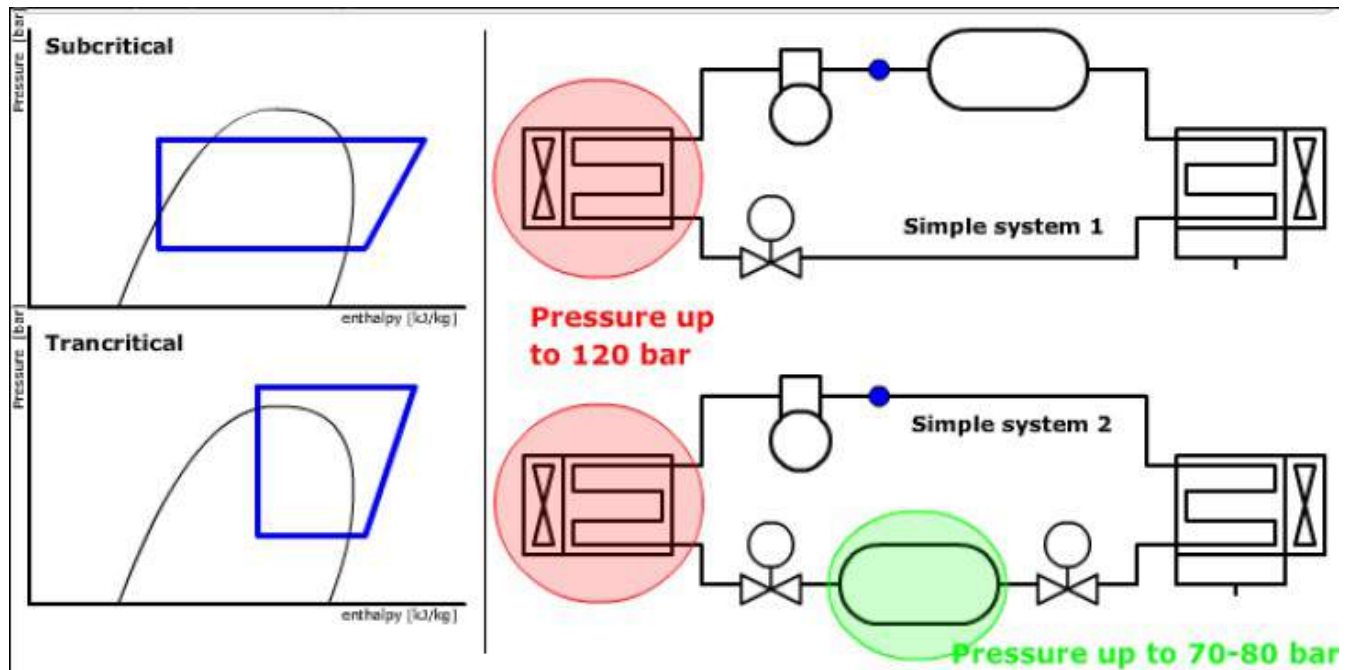
## Sistemas

### Sistema simple

Considerable pérdida de capacidad en alta temperatura.

Expansión en simple etapa en sistemas compactos con evaporador. (enfriadoras, intercambiadores de calor, bombas, HVAC,...)

Expansión en dos etapas para aplicaciones con multieaporadores.



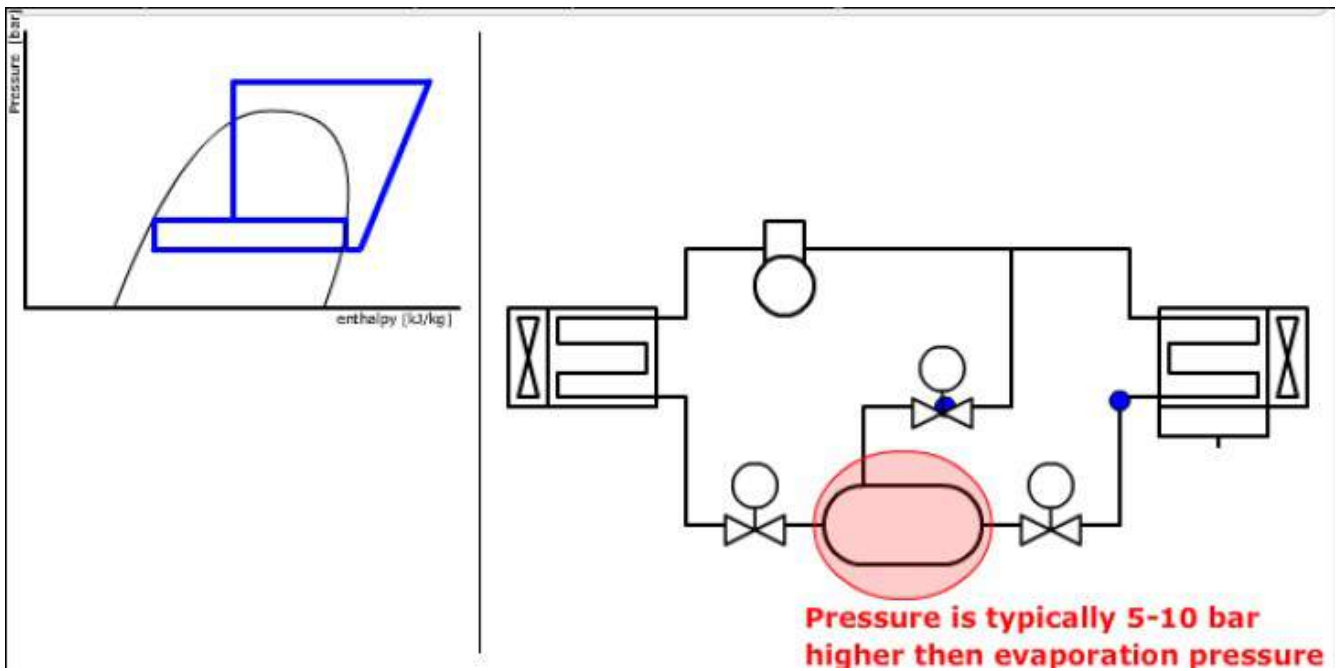
## Sistema de by-pass de gas

Sistema simple con posibilidad de seleccionar la presión en el sistema de distribución.

La misma eficiencia y pérdidas de capacidad en altas temperaturas.

Un menor flujo en la línea de líquido y sin embargo un más pequeño diámetro.

El flujo en la línea de líquido no se encuentra influido por la temperatura ambiente lo que implica un mejor diseño.

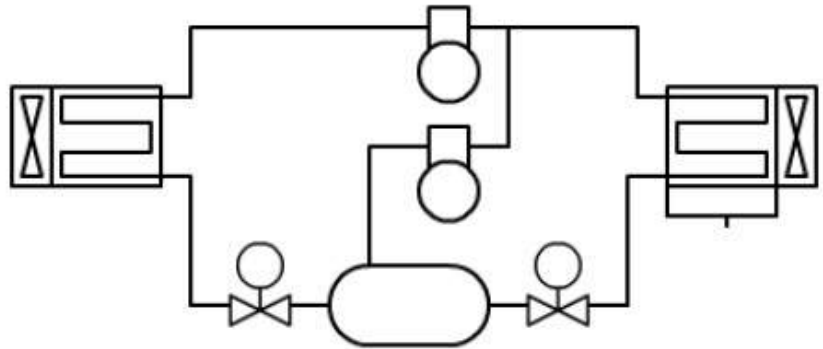
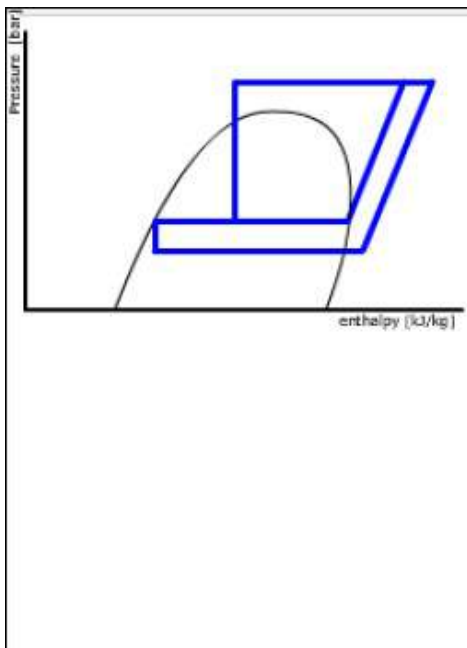


## Sistema con compresión en paralelo

Requiere todo el rango de control en el compresor de presión intermedia.

Menores pérdidas de capacidad en altas temperaturas.

Mayor capacidad con la misma cilindrada (total).



## Voorhees

### Ventajas

Aumenta la capacidad en operación transcrítica.

Mejor funcionamiento de economía que con convencional sistema de simple etapa.

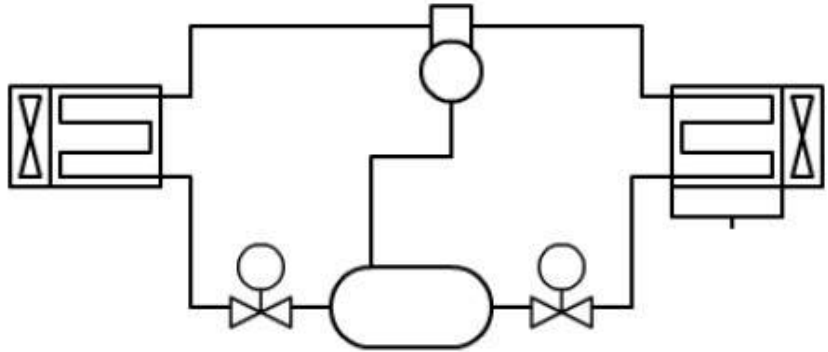
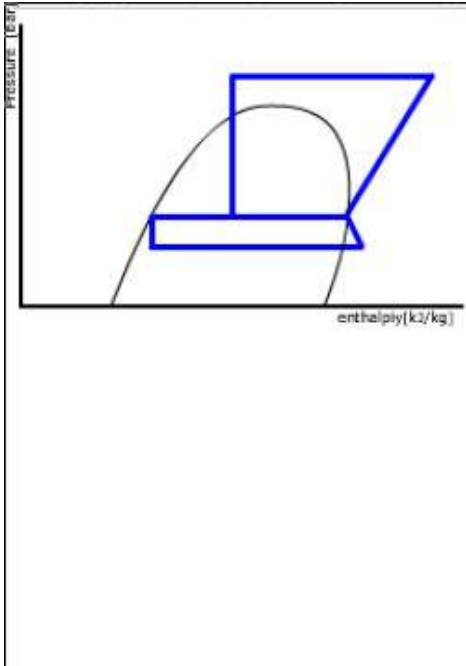
Más baja presión temperatura del gas haciéndolo posible para funcionar en congelación en una etapa.

### Desventajas

El compresor no es accesible

No existen experiencias

Sistema más complejo.



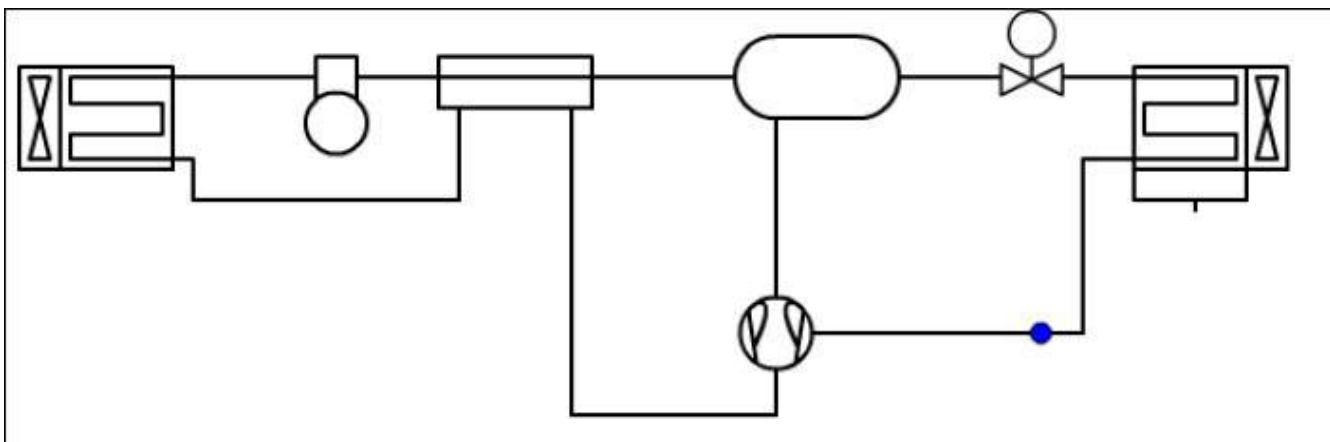
### Sistema de eyección

Mayor presión de succión para el compresor.

Menores pérdidas de capacidad en altas temperaturas.

Menores temperaturas de descarga.

Menor consumo de energía.

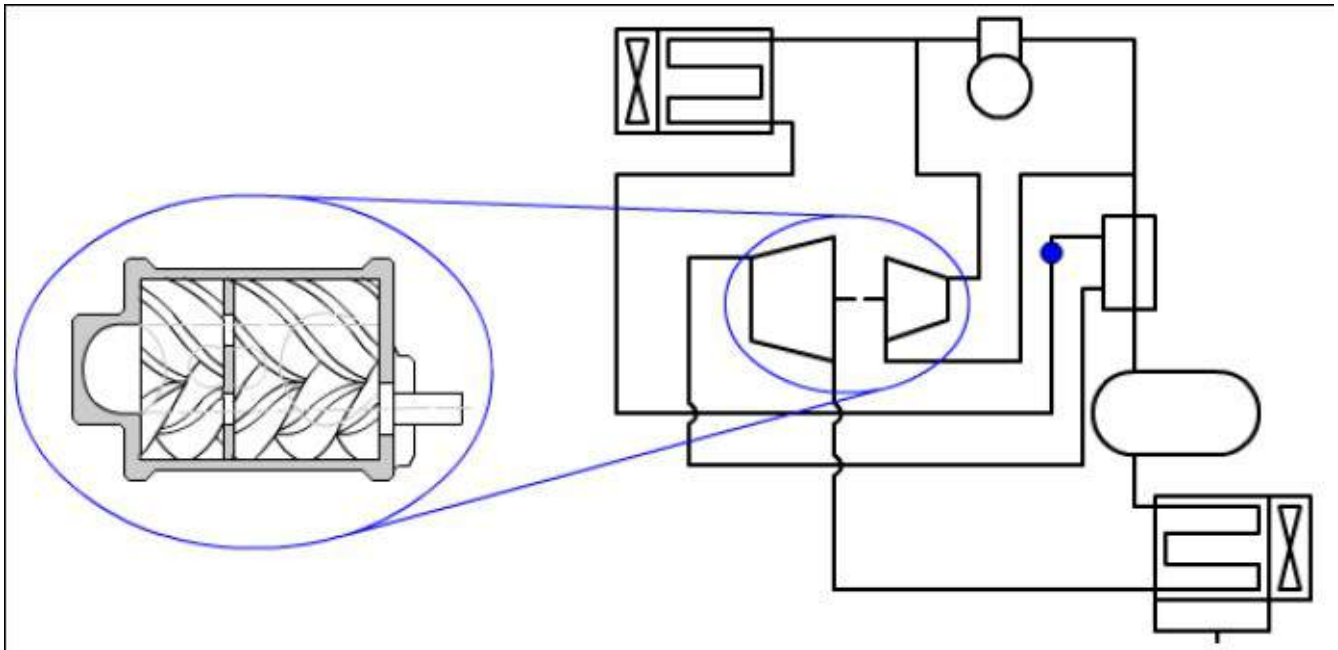


### Sistema recuperador del trabajo de expansión. Sist 1

Relativo sistema simple.

Mayor eficiencia.

Mayor capacidad de refrigeración con la misma cilindrada.



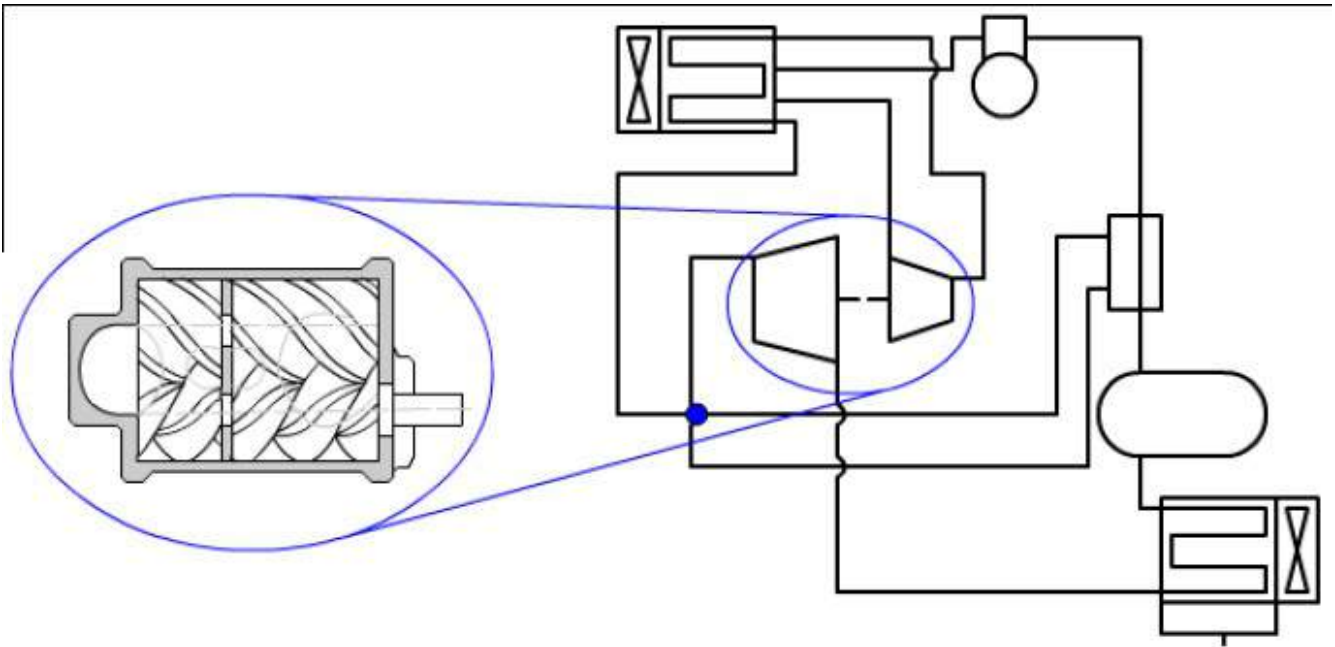
## **Sistema recuperador del trabajo de expansión. Sist 2**

Menor relación de presión del compresor.

Menor temperatura de descarga.

Sistema complejo.

Componentes en fase de prototipos.



## Sistema de refuerzo transcritico

Es el sistema con mayor potencial y futuro (especialmente en climas fríos)

El consumo de energía es igual e incluso menor que en los sistemas tradicionales.

El diseño es relativamente simple.

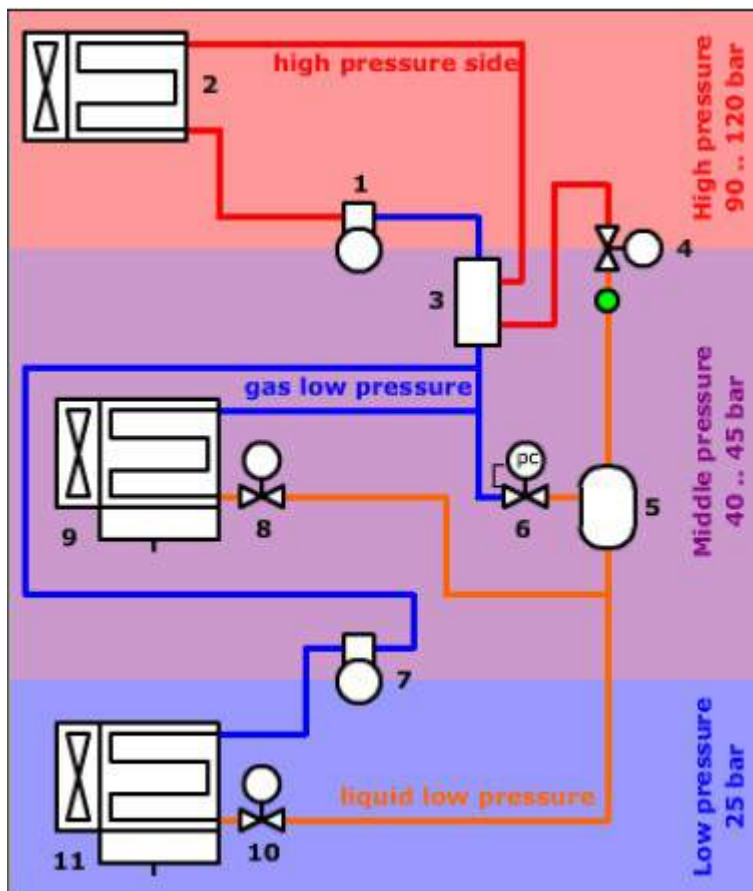
Se encuentra dividido en tres áreas relativas a la presión:

Área 1: 90...120bar

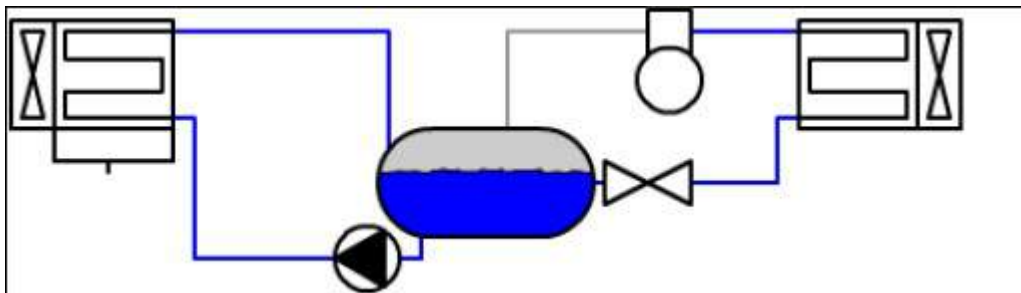
Comienza en el compresor 1 y va por la condensadora 2 y el IdeC 3 al deposito de expansión 4.

Área 2: 40...45bar

Área 3: 25bar



### Comparación de los sistemas con R717, R744 y R134a



### Como cargar un sistema de R744

Hacer el vacío del sistema antes de cargarlo. Se quiere reducir al mínimo la cantidad de humedad en el sistema.

Evitar la formación de hielo seco. Esto se puede hacer mediante la carga de gas a 10bar.

Siempre rellenar con R744 líquido hasta que se alcance la cantidad requerida.

Asegurarse de que las válvulas de seguridad no permanecen abiertas durante la carga.

Los sistemas de R744 operan con altas presiones. Es importante:

Siempre usar guantes y gafas de seguridad.

Siempre asegurarse de usar equipo e instrumentos que puedan soportar estas altas presiones.

Usar válvulas reductoras de presión para proteger los sistemas y los materiales.

### **Como vaciar un sistema de R744**

Siempre extraer el líquido R744 primero.

Si se extrae gas enseguida puede formarse hielo seco.

El hielo seco sublima lo que producirá cambios de presión.

Cuando todo el R744 se extraiga la instalación tiene que permanecer sellada evitando que penetre la humedad

### **Como arrancar un sistema de cascada**

No es posible escribir un procedimiento que sea común para todos los sistemas de cascada. Cada uno tiene particularidades propias. En general se pueden tener en cuenta los siguientes pasos:

Cargar con R744 en gas hasta 10bar.

Arrancar la parte de alta presión del sistema de cascada.

Una vez realizado lo anterior el sistema puede ser cargado por líquido.

Cuando ya exista suficiente líquido en el sistema la bomba de líquido se arranca y comenzará a circular R744.

Las válvulas de expansión en los evaporadores se abren una a cada vez. Los compresores arrancarán.

Cuando exista circulación el compresor en la cara de baja presión arrancará y de esta

manera se evitará un aumento excesivo en la bomba.

## **Como parar un sistema de cascada**

Al igual que antes no es posible hacer un único procedimiento válido para todas las instalaciones en cascada. En general, se pueden tomar en cuenta los siguientes pasos:

Cerrar la válvula de expansión

El compresor parará en el pump down.

Parar la bomba de R744

Cerrar las válvulas de cascada.

Parar el compresor del lado de alta presión

¡Siempre recordar que el R744 aumenta de presión muy rápido con aumentos de la temperatura!

## **Mantenimiento rutinario**

Tiene que ser realizado al menos una vez por año.

Recordar rellenar las hojas de incidencias y de mantenimiento.

Hay que encontrarse seguro de revisar lo siguiente:

Condensadoras: Chequear los ventiladores, las temperaturas, mantener los intercambiadores muy limpios.

Compresores: Mantener el óptimo nivel de aceite, las temperaturas (en culata, descarga,...), las vibraciones, el ruido y la operación.

Los sistemas de válvulas y tuberías.

Chequeo de los sensores y controladores con especial cuidado en la zona de alta presión.

Tener siempre presente las propiedades del R744 especialmente:

Siempre usar un detector de CO<sub>2</sub> y verificar que la sala de máquinas se encuentre bien

ventilada.

Se puede formar hielo seco si disminuye la presión del sistema.

Se tiene que tener especialmente cuidado con la presión de la instalación cuando se pasa al modo de parada.

La presión de trabajo es **muy alta**. Mantenga presente siempre esto.

## Sustitución de componentes

- Sustitución de aceite
  - Aislar el compresor del resto del circuito y aislar el depósito de aceite (si lleva)
  - Extraer R744 hasta que exista en el circuito 0,5bar aprox.
  - Extraer el aceite. Puede hacer espuma , debido a la gran cantidad de R744.
  - Hacer el vacío de la instalación y rellenarla con el aceite necesario y suficiente.

¡NUNCA usar aceite que se haya encontrado en contacto con el ambiente por un largo tiempo!

- Sustitución del filtro deshidratador
  - Cuando sea posible instalar siempre dos filtros en paralelo. Esto permite sustituir uno sin parar la instalación. Las paradas son muy delicaditas.
  - Cerrar la válvula después del depósito.
  - Realizar un pump-down, reemplazar el filtro y hacer vacío.
- Detección de fugas
  - El CO<sub>2</sub> contenido en la atmósfera se encuentra de un modo natural en una cantidad de 370ppm
  - Las moléculas del R744 son más pequeñas comparadas con las de los HCFs
  - El R744 se difunde en el aire rápidamente.

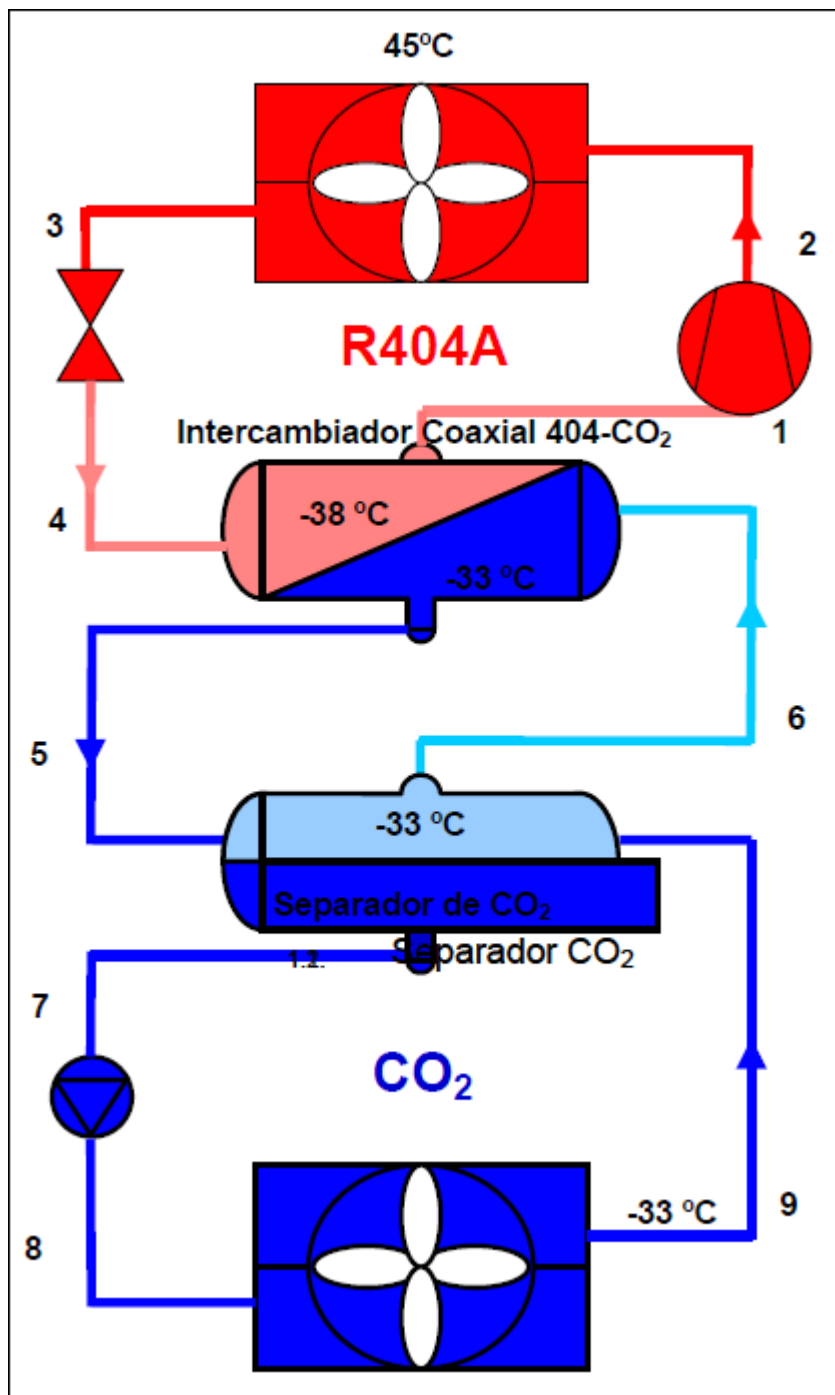
- Las fugas son comunes debido a las altas presiones.
- Una fuga en la línea de líquido frecuentemente se escucha. En estos casos el hielo seco se forma y se crean mayores fugas.
- Las fugas pueden ser detectadas con: sensores de ultrasonidos, equipos especiales de detección de fugas o agua con jabón.

## **Instalación de R404a-R744**

Se trata de un proyecto ejecutado en España. Es un sistema indirecto de R404A-R744. El R404A se encuentra confinado en sala de máquinas. El R744 viaja y se reparte en las evaporadoras. Ambos refrigerantes transmiten calor en un intercambiador común.

Los sistemas indirectos con refrigerantes secundarios introducen un coste añadido debido a la bomba y al intercambiador de calor, además de un incremento en la diferencia de temperatura. Sin embargo, en la práctica el consumo total de energía a lo largo del año puede ser inferior al de un sistema directo.

En el caso de los sistemas indirectos, el calor se transfiere a un refrigerante secundario, que puede ser cualquier líquido enfriado por el refrigerante. Se ha escogido un fluido con cambio de fase R744 o ice-slurry.



El circuito primario es convencional por lo que no se comenta.  
 El circuito secundario:

El intercambiador, que es un tubo coaxial donde fluye el 404a por el tubo interior y vaporiza. Y entre los tubos condensa el CO<sub>2</sub>.

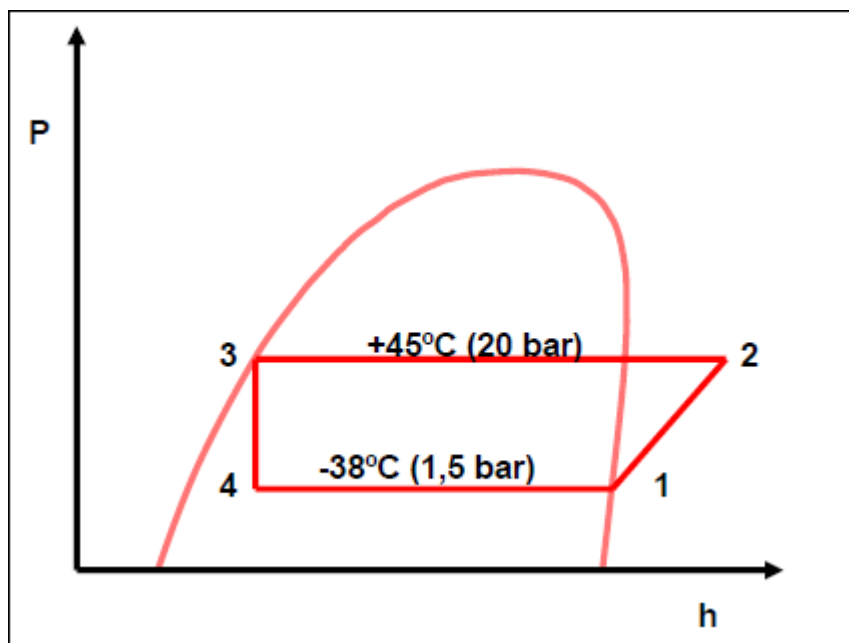
La línea coaxial-recipiente de líquido que lleva el CO<sub>2</sub> líquido desde el intercambiador hasta el recipiente de líquido (5, proceso por gravedad)

La línea recipiente de líquido-coaxial que lleva el CO<sub>2</sub> en estado gaseoso desde el recipiente de líquido hasta el intercambiador (6, proceso por diferencia de densidades).

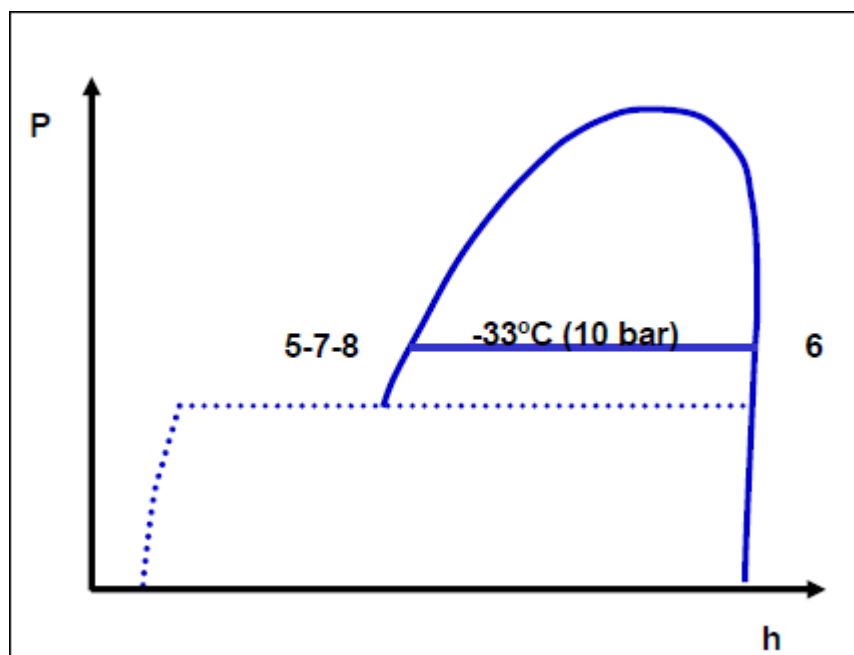
El recipiente de líquido a alta presión que, además de funcionar como reserva de

CO<sub>2</sub>, recoge el líquido que llega desde los evaporadores.  
 La bomba de recirculación (más una de reserva en caso de necesidad) que empuja el CO<sub>2</sub> hacia los evaporadores  
 La línea de aspiración de la bomba (7)  
 La línea de líquido que lleva el refrigerante con exceso de líquido hacia los evaporadores(8)  
 La línea de retorno que lleva la mezcla de líquido más vapor al recipiente del líquido (9)

El proceso R404 en el diagrama es:



En R744 es:



## ***Dimensiones del evaporador***

Tubo de 3/8", aleta de 0,3 mm y separación 10mm.

Superficie total: 6,4m<sup>2</sup>.

Temperatura Sat.: -33°C; Presión Sat.: 12,91bar

Temperatura media del aire: -24,5°C

Pérdida de carga: 24893,9Pa

Masa de R744 en el evaporador: 2,15kg

Longitud del evaporador: 30,2m

Desescarche por resistencias eléctricas.

Diametro de Tuberías

La solución óptima que cumple con la limitación de pérdida de presión (para no afectar demasiado la eficiencia de los evaporadores), y que además conlleva un número de recirculaciones lo suficientemente grande como para poder influir en el coeficiente de convección del CO<sub>2</sub>, consiste en hacer fluir el refrigerante con 5 recirculaciones (relación entre la cantidad de refrigerante que se evapora y la cantidad de refrigerante líquido que pasa a la evaporadora), en la que el primer tramo de tubería (recipiente-evaporadores) es de 3/8", y los otros dos (evaporadores-recipiente y tramos de Idéc-deposito ida y vuelta) de 5/8".

## **Bombas**

La recirculación de fluidos refrigerantes se efectúa preferentemente con bombas herméticas debido a la ausencia total de fugas y mantenimiento. Las bombas herméticas se caracterizan además por su forma compacta, su facilidad de instalación y sobre todo por su alta fiabilidad. La elección de las bombas depende en gran parte de los datos específicos de la bomba y de la instalación. Para la determinación de la altura mínima de acometida hay que tener en cuenta situaciones de inestabilidad de la instalación e influencias termodinámicas en la aspiración de la bomba.

El principio en el que se basa la recirculación forzada reside en el hecho de que la bomba impulsa una mayor cantidad de líquido que la que evapora con aportación de calorías en el evaporador y entra otra vez como gas al depósito.

El funcionamiento de las bombas herméticas en instalaciones frigoríficas depende fundamentalmente de una instalación y forma de trabajo correctas. Para ello han de tenerse en cuenta los siguientes puntos:

- Observación de una altura mínima de acometida necesaria para evitar cavitación
- Cumplimiento del margen de trabajo permitido entre caudal mínimo  $Q_{\min}$  y caudal máximo  $Q_{\max}$
- Una adecuada desgasificación automática de la bomba
- Evitar una bajada brusca de presión y temperatura del sistema

La línea de aspiración debe ser lo más corta posible, estar bien aislada y con una pendiente constante hacia la bomba. Para conseguir las condiciones de trabajo óptimas, la velocidad del flujo no debería exceder 0,3 a 0,5 m/s.

Un filtro de aspiración no es necesario porque las bombas que se utilizan llevan uno interno que se limpia automáticamente para evitar que las impurezas dañen los cojinetes del motor.

## **Circuito de bypass**

Colocado a la salida de la bomba y antes de la entrada al deposito separador de fases.

La bomba adecuada se encuentra siempre entre un caudal mínimo y uno máximo.

El caudal mínimo se necesita para que se refrigere el motor hermético de la bomba, para evitar la formación de gas en el interior de la bomba y para evitar la cavitación a regímenes bajos de trabajo.

El caudal máximo queda limitado por la potencia del motor , la altura de la instalación y la necesidad de mantener una presión mínima en el motor para evitar que se evapore el R744.

Las válvulas que se instalen en la línea de bypass serán siempre NO.

El orificio de  $Q_{Max}$  se instala como mínimo a 0,5m de la brida de impulsión de la bomba.

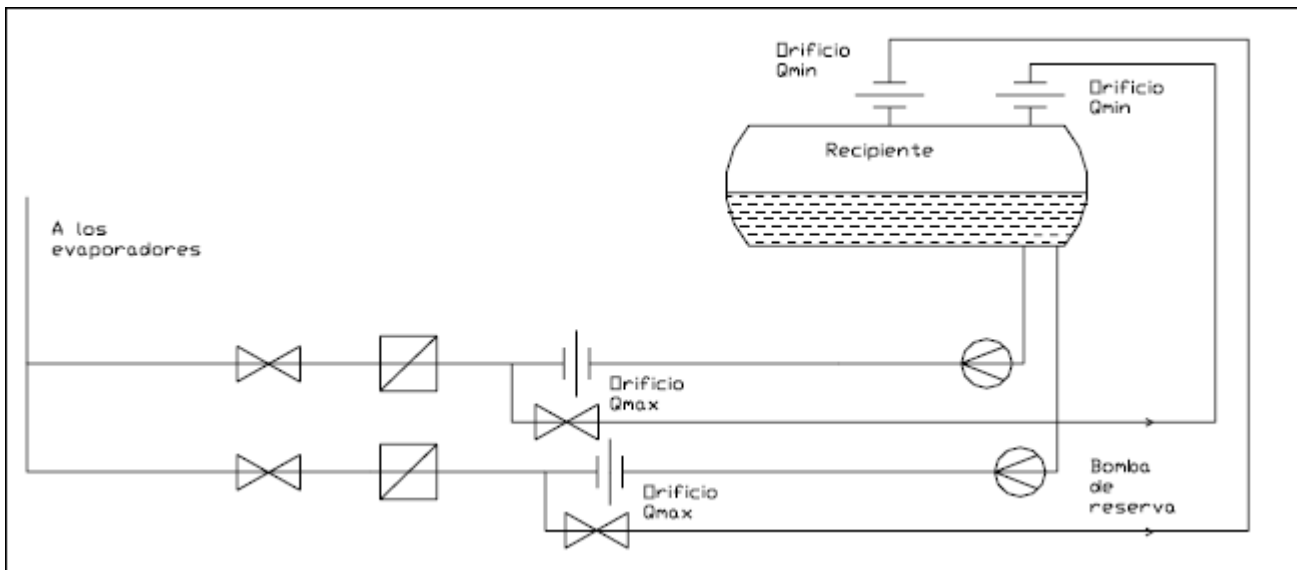
El orificio de  $Q_{Min}$  se instala directamente encima del deposito separador para evitar un flujo de dos fases.

Durante la parada de la bomba, la línea de bypass sirve de línea de desgasificación. La bomba solamente debe arrancar cuando se encuentre en la misma el fluido refrigerante líquido.

Cuando se utilicen válvulas de retención en el lado de impulsión de la bomba, será necesario tener en cuenta que la línea de bypass se bifurque antes de la válvula de retención, para posibilitar una desgasificación automática de la bomba.

Se han de instalar válvulas de retención en las líneas de impulsión para evitar que el líquido impulsado por la bomba en funcionamiento, retorne a través de la bomba de reserva. La bomba de reserva siempre debería estar llena de líquido y preparada para su arranque inmediato. La línea de bypass posibilita el cambio de una bomba a otra sin tener que manipular válvulas.

Pequeñas alturas de acometida o grandes caudales pueden causar remolinos en el recipiente de aspiración. El resultado es una considerable disminución del rendimiento de la bomba. Por esta razón deben instalarse placas deflectoras en la salida del separador. También se puede prever un recubrimiento del nivel de líquido mediante una balsa.



### Datos de la bomba

Una vez calculada la bomba adecuada, se obtiene:

- Tipo de bomba: Hermetic CAM 1
- Número de etapas: 2
- Régimen de giro: 2800 r.p.m
- Caudal impulsado: 0,9 m<sup>3</sup>/h
- Caudal mínimo: 0,5 m<sup>3</sup>/h
- Caudal máximo: 3,5 m<sup>3</sup>/h
- Potencia absorbida: 0,18 kW
- NPSH<sub>bomba</sub> = 0,25 m
- Altura de aspiración: 1 m

### Datos del separador de líquido

Diámetro calculado (m)	0,2
Diámetro estándar (m)	0,22
Longitud calculada (m)	0,81
Longitud estándar (m)	0,9
Volumen calculado (l)	25,79
Volumen estándar (l)	30
Masa de refrigerante total en tuberías (kg)	6,46
Masa de refrigerante en el intercambiador coaxial (kg)	1,71
Masa total de refrigerante sin recipiente (kg)	15,12
Masa de refrigerante en el	17,55

recipiente
------------

## Válvulas de seguridad

El dispositivo más empleado para el alivio de presión es la válvula de seguridad de resorte, que automáticamente sin otra asistencia que la del propio fluido implicado, descarga fluido para evitar que se exceda una presión predeterminada y que está diseñada para que vuelva a cerrar y se evite el flujo adicional de fluido después de haberse restablecido las condiciones normales de presión.

La válvula de seguridad seleccionada será CDV  $\frac{1}{2}$ " -  $\frac{3}{4}$ " , con presión de tarado de 27,5 bar. Su capacidad de descarga es de 1800Kg/h aire.

Asimismo, se utilizarán dos indicadores de nivel de líquido (uno de mínimo y otro de máximo) (DANFOSS Modelo AKS 41-3).

			Porcentaje de la presión de diseño
<b>Recipiente</b>	Presión normal de servicio (bar)	12,92	0,85
	Presión de diseño (bar)	15,2	1
	Presión máxima de servicio (bar)	13,68	0,9
	Presión acumulada máxima permitida (bar)	16,72	1,1
<b>Válvula</b>	Presión de reasiento o cierre (bar)	13,98	0,92
	Presión de tarado (bar)	14,89	0,98
	Presión máxima de tarado (bar)	15,2	1
	Sobrepresión		0,1
	Presión de alivio (bar)	16,38	1,1
	Presión máxima de alivio (bar)	16,68	1,12

## Selección del intercambiador coaxial

El intercambiador coaxial se hará construir a medida del recipiente de líquido de CO<sub>2</sub>, de manera que las longitudes coincidan y se puedan poner el uno encima del otro.

Así pues, ya que la longitud del recipiente de CO<sub>2</sub> es de 870 mm, y la longitud necesaria de coaxial es de 10 m, harán falta aproximadamente 10 vueltas de intercambiador. El fabricante al que se encargará la fabricación a medida del intercambiador coaxial será TERINTER.

## ***Conclusiones (aplicacion nada especial)***

Los resultados obtenidos demuestran que las prestaciones del circuito con CO<sub>2</sub> son equiparables con las de otros sistemas que utilicen refrigerantes tradicionales.

En concreto, se ha obtenido que para esta instalación el COP del circuito con CO<sub>2</sub> sólo es, aproximadamente, un 10% menor que en el caso de un ciclo con R404A tradicional. En cambio, hay un incremento en el coste de la instalación, a causa de los elementos adicionales (básicamente intercambiador coaxial y bomba de recirculación).

No obstante, este circuito podría resultar útil en aquellas instalaciones en las que se anteponga la necesidad de garantizar la seguridad de los usuarios y la calidad del producto que se quiere enfriar, puesto que el CO<sub>2</sub> no es tóxico ni inflamable, y los límites de exposición son más elevados que en el caso de otros refrigerantes.

La aplicabilidad del CO<sub>2</sub> como refrigerante es muy significativa, ya que da muy buenos resultados a bajas temperaturas. Además, reduce notablemente los riesgos, especialmente cuando hay componentes del sistema que requieran estar próximos a los operarios. La cantidad de refrigerante primario se puede reducir hasta un 75%, y además contenerse en una sala de máquinas, reduciendo así los riesgos ante una fuga.

El CO<sub>2</sub>, además, es un refrigerante económico porque se encuentra disponible como residuo de muchos procesos industriales, y requiere de unas dimensiones de tubería menores que con otros sistemas, por lo que se reduce el coste de la instalación.

En definitiva, esta aplicación tiene un gran potencial, y los últimos acontecimientos demuestran la necesidad de seguir investigando la forma más adecuada de utilizar CO<sub>2</sub> en los sistemas de refrigeración comerciales.

Se trata de una colección de tres libros. El primero trata de las tecnologías propias de las instalaciones de CO2. El segundo tomo considera la medición de espesores y equipos a presión constitutivos de estas instalaciones frigoríficas El tercer tomo considera aspectos de seguridad reglamentaria según R.D. 138/11

