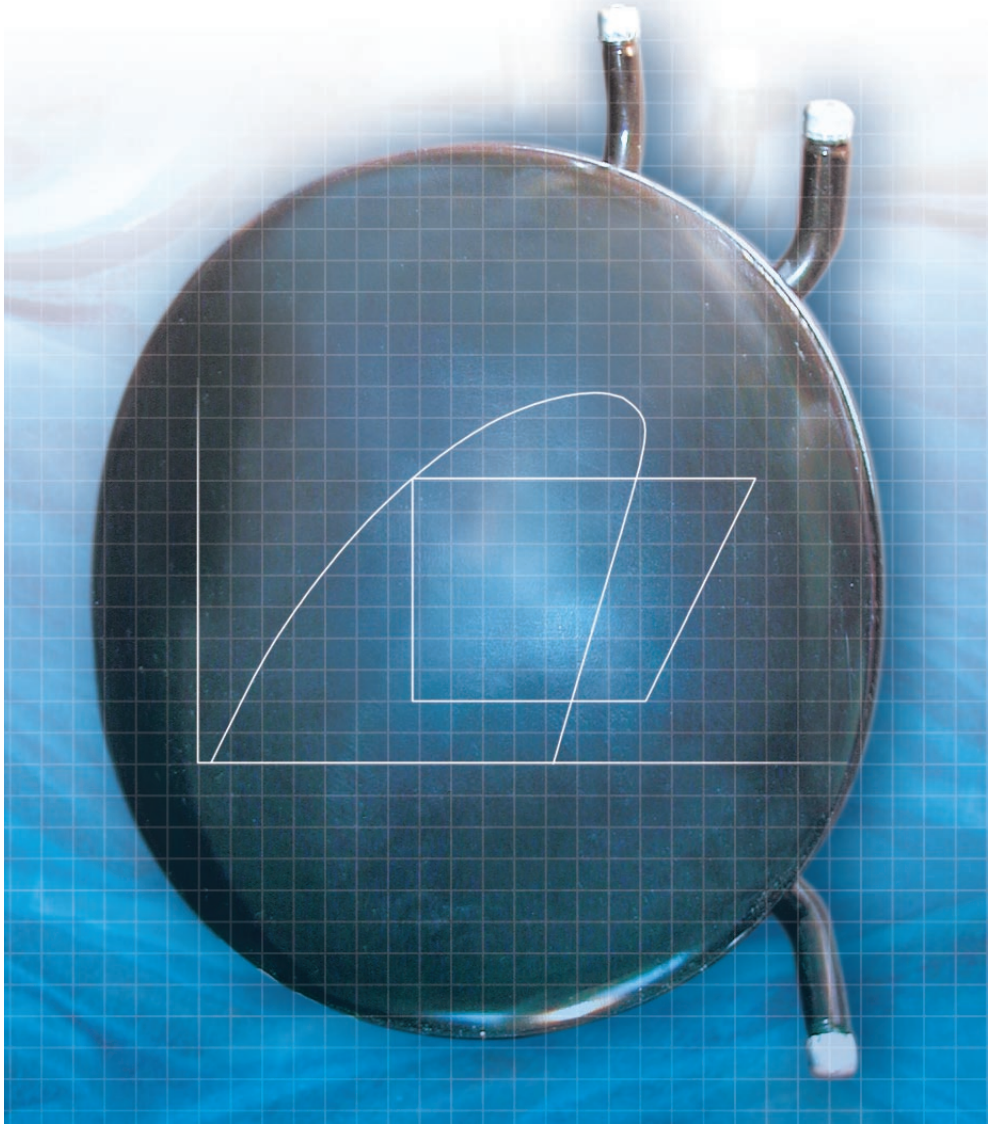
COMPRESSORS

Información técnica

Aplicaciones prácticas del refrigerante R290 propano en sistemas herméticos pequeños



REFRIGERATION AND AIR CONDITIONING

El refrigerante R290, o propano, es un posible sustituto para otros refrigerantes, con gran impacto ambiental, en sistemas herméticos pequeños, como los refrigeradores y congeladores domésticos y comerciales. Tiene un potencial cero de destrucción de ozono ODP y un potencial de calentamiento global GWP insignificante. Dado que procede del petróleo, se le considera un refrigerante natural.
El R290 se ha utilizado anteriormente en plantas de refrigeración y todavía se sigue utilizando en algunas plantas industriales. En Alemania se ha utilizado en bombas de calor y aires acondicionados domésticos, con diferentes niveles de éxito. Debido a su disponibilidad en todo el mundo ha sido debatido ampliamente para reemplazar a los CFC. El propano, R290 es un posible refrigerante para esta aplicación, con buen rendimiento, pero debe tratarse con cuidado debido a su inflamabilidad.
Este documento es similar en cierta medida al del R600a CN.60.E.

1 Refrigerante

Las propiedades del R290 difieren de las de otros refrigerantes utilizados comúnmente en sistemas herméticos pequeños, como se muestra en la tabla 1. Esto significa que se necesitarán detalles de diseño diferentes en algunos casos.

Tabla 1: Comparación entre refrigerantes.

Refrigerante	**R 290**	**R 134a**	**R 404A**	**R 22**	**R 600a**
Nombre	Propano	1,1,1,2-Tetra-flouro-etano	Mezcla R 125 R 143a R 134a	Cloro-difluoro-metano	Isobutano
Formula	C_3H_8	CF_3-CH_2F	44/ 52/ 4	CHF_2Cl	$(CH_3)_3CH$
Temperatura crítica en °C	96.7	101	72.5	96.1	135
Peso Molecular en kg/kmol	44.1	102	97.6	86.5	58.1
Punto normal de ebullición en °C	-42.1	-26.5	-45.8	-40.8	-11.6
Presión a -25°C en bar (absoluto)	2.03	1.07	2.50	2.01	0.58
Densidad del líquido a -25°C en kg/l	0.56	1.37	1.24	1.36	0.60
Densidad vapor a to -25/+32°C en kg/m^3	3.6	4.4	10.0	7.0	1.3
Capacidad volumétrica a -25/55/32°C en kJ/m^3	1164	658	1334	1244	373
Entalpía de vaporización a -25°C en kJ/kg	406	216	186	223	376
Presión a +20°C en bar (absoluto)	8.4	5.7	11.0	9.1	3.0

1.1 Presión

Una diferencia entre el R290 y el R134a es el nivel de presiones, el R290 esta más cerca al R22 y R404A. Por ejemplo, una presión de evaporación de –25°C corresponde aproximadamente a un 190% de R134a, el 81% del R404A, 350% del R600a o casi igual para R22. En relación con esto el punto de ebullición normal es cercano al R22. Por lo tanto, el diseño del evaporador debe ser similar a los diseñados para R22 y R404A.

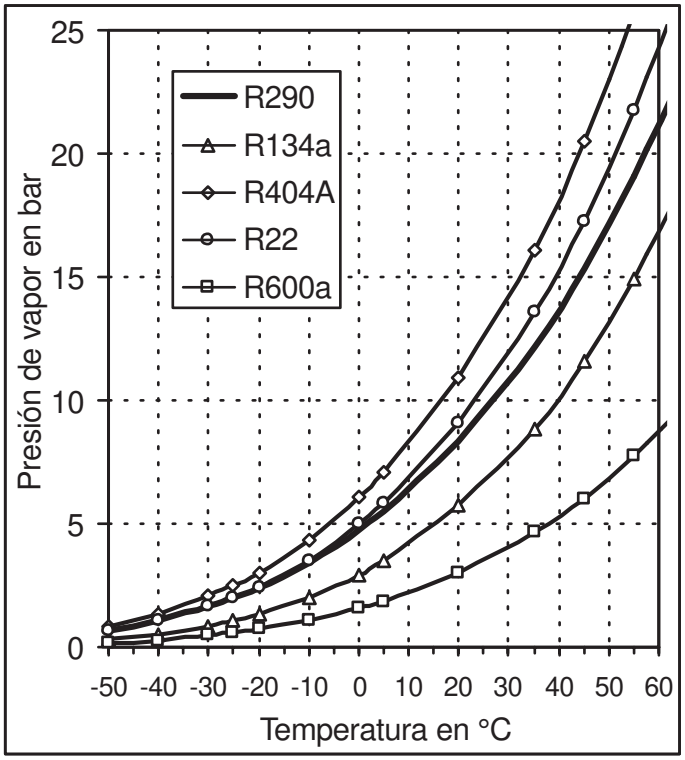


Figura 1: Presión de vapor para diferentes refrigerantes frente a temperatura.

El nivel de presión y la temperatura crítica son casi como las del R22. Sin embargo, la temperatura de descarga es mucho más baja. Esto da la oportunidad de trabajar a relaciones de presión más altas, lo cual significa temperaturas de evaporación mas bajas o temperatura de gas de aspiración mas altas.

1.2 Capacidad

El R290 tiene aproximadamente un 90% de la capacidad volumétrica del R22 y un 150% del R134a a una temperatura de condensación de 45°C, como se puede ver en la figura 2. Es necesario, por lo tanto, un compresor con un desplazamiento volumétrico cercano al de R22, y de un 10 a un 20% mayor que para R404A.
La capacidad volumétrica aproximada es de 2.5 a 3 veces la de R600a. Es por esto, que la elección de estos refrigerantes, R600a y R290, lleva a diseños de sistemas diferentes debido a los diferentes flujos volumétricos necesarios para la misma necesidad de refrigeración.

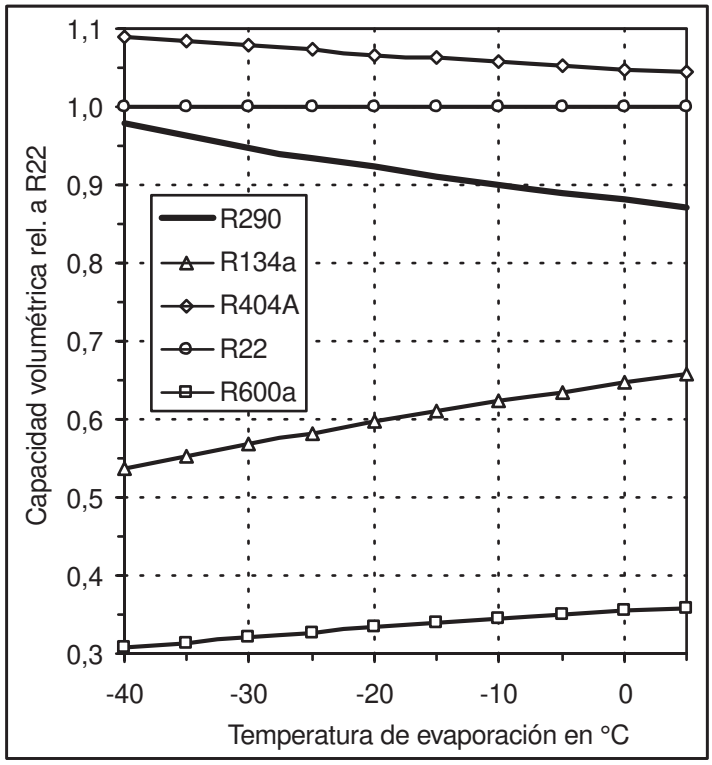


Figura 2: Capacidad volumétrica del R290, R134a, R404A y R600a, en relación al R22, respecto a temperatura de evaporación, temperatura de condensación de 45°C y temperatura de aspiración de 32°C, sin subenfriamiento.

1.3 Carga de refrigerante

Si se carga R290 sin haber cambiado el sistema de refrigeración, la cantidad de carga en gramos será mucho más pequeña. Sin embargo, calculado en cm^3, la carga sería aproximadamente la misma que el volumen de líquido en el sistema. Esto da cargas de aproximadamente un 40% de R22 o R404A en gramos, de acuerdo con la tabla 1, lo cual también corresponde con los valores empíricos.
La carga máxima de acuerdo con las regulaciones de seguridad es de 150 g para muebles refrigerados y aplicaciones similares, las cuales corresponden aproximadamente a 360 g de R22 o R404A.

1.4 Pureza

Las especificaciones para el R290 no se encuentran en los estándares internacionales. Algunos datos están incluidos en la norma alemana DIN 8960 de 1998, la cual es una versión ampliada de la ISO 916. La pureza del refrigerante se considera según su química y su estabilidad, según la vida del compresor y del sistema, y desde el lado termodinámico considerando el comportamiento y el control del sistema de refrigeración.

La especificación DIN 8960 es una especificación general sobre la seguridad de los hidrocarburos, adoptada de un catalogo de criterios sobre refrigerantes y convertido al propano, isobutano, n-butano y otros. Algunos conceptos pueden ser aceptados para refrigerantes específicos y combinaciones no puras después de una evaluación exhaustiva.

Por el momento no existe en el mercado ningún refrigerante con la calidad acorde con los estándares oficiales. Las especificaciones de calidad deben ser revisadas con el empresas suministradoras en detalle. El gas licuado del petróleo LGP para aplicaciones como carburantes con grado de pureza técnico de un 95 % no es suficiente para sistemas de refrigeración herméticos. Los contenidos en agua, sulfuros y componentes reactivos deben estar por debajo de los niveles de garantía para estos productos. El denominado refrigerante técnico de 99.5%, también conocido como 2,5, se utiliza ampliamente.

Tabla 2: Especificaciones de R290 de acuerdo con DIN 8960 – 1998

	Especificación		Unidad
Contenido en refrigerante[1]	≥	99.5	% masa
Impurezas organicas[2]	≤	0.5	% masa
1,3-Butadieno[3]	≤	5	ppm por masa
n-hexano	≤	50	ppm por masa
Benceno[4]	≤	1	ppm por substancia
Azufre	≤	2	ppm por masa
Deslizamiento de temperatura evap.	≤	0.5	K (desde 5 a 97 % destil)
Gases no condensables	≤	1.5	% vol. Fase vapor
Agua[5]	≤	25	ppm por masa
Contenido en ácidos	≤	0.02	mg KOH/g neutralización
Residuos de evaporación	≤	50	ppm por masa
Partículas/Sólidos		no	Revisión visual

1) El contenido no esta detallado en DIN 8960. Solo las impurezas están clasificadas y limitadas. El principal contenido es el resto hasta un 100%.
2) Según el compresor se acepta un contenido de un 1% de butano en el R290.
3) Este es el valor máximo para cada sustancia simple de los hidrocarburos insaturados.
4) Este es un valor máximo según cada compuesto aromático sencillo.
5) Este es un valor preliminar, será revisado según se vaya experimentando.

2 Materiales

En los compresores Danfoss se emplea aceite poliolester al usar R290, siendo la compatibilidad con el aceite idéntica al R134a o R404A. El R290 es químicamente inactivo en los circuitos de refrigeración, luego no tiene porque dar problemas. La solubilidad con el aceite éster es buena. La compatibilidad con los materiales directos es menos problemática. Algunas gomas y materiales plásticos han manifestado algún tipo de problema pero no están normalmente en sistemas herméticos pequeños. En la tabla 3 se muestra la compatibilidad de algunos materiales con problemas estudiados por diferentes especialistas. En materiales críticos se deben realizar pruebas para el uso en particular.

Tabla 3: Compatibilidad con distintos materiales

Material	**Compatibilidad**
Goma butílica	No
Goma común	No
Polietileno	Depende de la condiciones
PP	No
PVC	No
PVDF	No
EPDM	No
CSM	no

2.1 Filtros deshidratadores

El desecante común para refrigeradores domésticos es el molecular sieves, una zeolita. Para R290, al igual que para R134a, se recomienda un material con poros de 3 Å por ejemplo, UOP XH 7, XH 9 o XH 11, Grace 594, CECA siliporite H3R. Los filtros para R134a se pueden utilizar con R290, si están homologados según IEC / EN 60335.
Ver también nota CN.86.A.
Si se utilizan filtros con núcleos sólidos, preguntar al fabricante por la compatibilidad con el R290. Los filtros DU se pueden utilizar.

3 Inflamabilidad y seguridad

La principal desventaja en relación con el R290 es el riesgo de inflamabilidad, causa por la que se deben tomar precauciones de seguridad especiales para su manejo.

Tabla 4: Inflamabilidad del propano

Límite mínimo de explosión	(LEL)	2.1%	Aprox. 39 g/m^3
Límite máximo de explosión	(UEL)	9.5%	Aprox. 177 g/m^3
Temperatura mínima de ignición		470°C	

Son necesarias precauciones de seguridad en concentraciones grandes de propano debido a su inflamabilidad, en sus aplicaciones y en los procesos de producción. Los riesgos en estas situaciones son muy diferentes. Para que se produzca un accidente se tienen que cumplir dos condiciones. Una es la mezcla inflamable de gas y aire y la otra es el tipo de ignición a ciertos niveles de energía o temperatura.
Estas dos condiciones se deben presentar juntas para la combustión, luego se tiene que evitar esta combinación.



Figura 3: Etiqueta de peligro amarilla

Los compresores Danfoss para R290 tienen protectores internos y sistemas de arranque PTC o relés especiales, todos ellos asegurando que no se puedan producir chispas cerca del compresor, ya que en caso de fugas cerca del compresor no se puede garantizar la mezcla con el aire por debajo del LEL (límite de explosión inferior).

Como muestra la figura 3, llevan una etiqueta de peligro amarilla para gas inflamable.

3.1 Aplicación

Para pruebas de seguridad en los refrigeradores domésticos y aplicaciones similares se ha establecido en Europa un estándar, la hoja técnica IEC TS 95006. También existe una adaptación a la norma IEC / EN 60335-2-24, la cual es una norma de seguridad eléctrica. Las homologaciones para refrigeradores con hidrocarburos como refrigerantes están de acuerdo con los procedimientos del TS en Europa desde 1994. La metodología del TS y los procedimientos de esta norma están basados en la siguiente descripción. También se deben tener en cuenta otras normas nacionales, por ejemplo, EN 378, DIN 7003, BS 4344, SN 253 130, las cuales pueden tener diferentes requisitos.

- Todo elemento interruptor de corte eléctrico durante su operación normal se considera como un foco de ignición. Esto incluye termostatos, contactos de puertas para luz, dispositivos on/off y otros interruptores, como congelación rápida, relés de compresores, térmicos externos, relojes de desescarche, etc.
- Todos los componentes conteniendo refrigerante se consideran focos de refrigerante por medio de una fuga. Esto incluye evaporadores, condensadores, calentadores de puertas, tuberías y compresor.
- La carga máxima de refrigerante se fija en 150 g. Manteniendo la carga a un máximo de 25% del nivel de explosión mínimo LEL, el cual es aproximadamente 8 g/m^3, para cocinas estándares, los riesgos de ignición son bajos, aun si la distribución del refrigerante, en caso de fuga, es desigual.

El objetivo principal de las precauciones de seguridad es separar las cámaras que contienen los refrigerantes de las que tienen elementos eléctricos de corte.

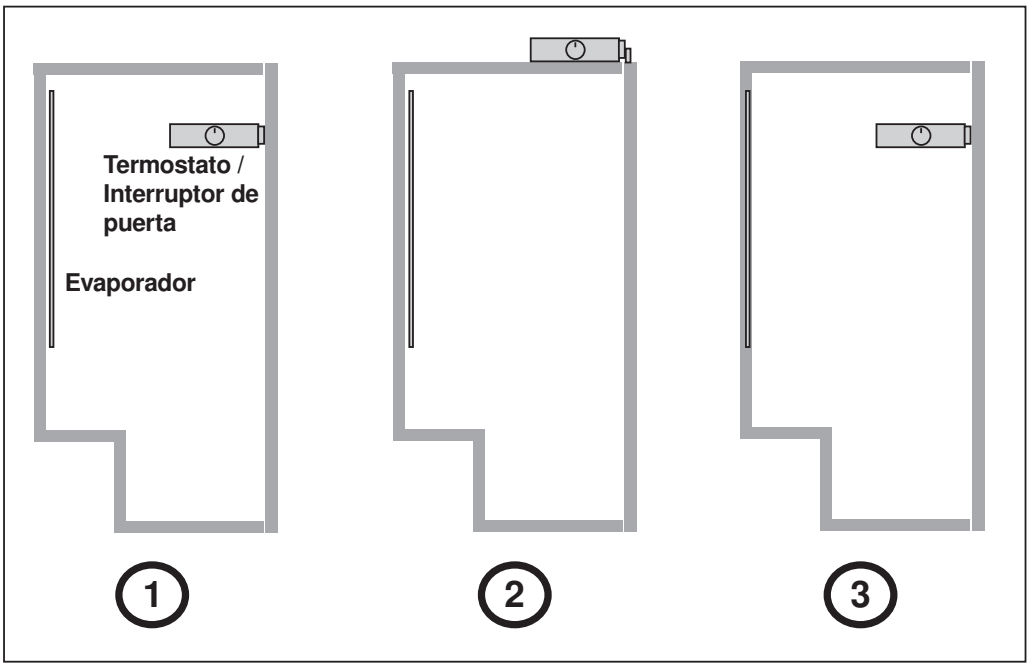


Figura 4: Variantes de aplicaciones de diseño.

En la figura 4 se muestran tres posibilidades. La opción 1 tiene el evaporador y el termostato/ interruptor de puerta en el área de almacenamiento. Es una situación crítica si tenemos refrigerantes inflamables y no se debería utilizar. La opción 2 tiene el evaporador dentro y el termostato/interruptor de puerta fuera, en el techo. Esto sería una solución bastante segura. La opción 3 tiene el termostato/interruptor de puerta dentro, pero el evaporador esta incrustado en el aislante del equipo. Esta solución se utiliza con frecuencia. La opción elegida debe diseñada y realizar pruebas de fugas según los procedimientos TS 95006 y IEC / EN 60335.

Esta situación de separación de cámaras se da en la actualidad en el diseño de muchos muebles frigoríficos y congeladores.

- Los botelleros grandes y congeladores tienen con mucha frecuencia todos los interruptores eléctricos en el panel superior.
- Algunos congeladores tienen el evaporador escondido en el mueble, en el aislante, lo que significa que no esta en el área de almacenamiento, donde si está el termostato y por tanto este caso se permite.

Se darán situaciones criticas cuando no sea posible evitar que el evaporador y el termostato o los interruptores estén en la misma cabina. En este caso tenemos dos posibilidades.

- Se deben utilizar modelos de termostatos e interruptores aislados, que eviten la entrada de gas y que este pueda alcanzar los contactos. Danfoss tiene termostatos electrónicos adecuados para esta aplicación.
- Los ventiladores dentro del recinto frigorífico deben ser seguros, y no producir chispas incluso si se bloquean.
- Los conectores eléctricos y lámparas deben cumplir ciertas especificaciones.

Aún habiendo tenido en cuenta todas las consideraciones anteriores, cada una de las aplicaciones con R290 debe estar probada y homologada según los procedimientos TS / IEC / EN, o por una organización independiente. Para más detalles ver normas. Las instrucciones de utilización deberán incluir alguna información sobre precauciones en el manejo, como no desescarchar los compartimentos del congelador con cuchillos, e instalar en una cámara con al menos 1 m^3 por cada 8 g de carga, esto ultimo se incluye en la etiqueta. Los sistemas con relés u otros componentes eléctricos cerca del compresor deben cumplir las especificaciones que se detallan en la etiqueta del mismo.

- Los ventiladores del condensador deben estar protegidos contra chispas que se puedan originar, incluso si se bloquea o sobrecarga. Los ventiladores están diseñados para no necesitar un térmico o bien cumplen con la norma IECC 60097-15.
- Los relés deben cumplir la IEC 60079-15 o estar instalados donde una fuga no produzca una mezcla inflamable con el aire, por ejemplo en una caja aislada o a una altura suficiente. Los accesorios de arranque de los compresores SC Danfoss se distribuyen con una cable largo para poderlos colocar en una caja eléctrica separada.

3.2 Fábrica

El contenido de refrigerante en el sistema y el diseño de seguridad del mismo debe ser aprobado y controlado regularmente por las autoridades locales. Más abajo se indican los principios de diseño e instalación en Alemania. En muchos detalles están basados en las regulaciones para instalaciones de gases licuados y se aplican especialmente en las proximidades a las zonas de carga, donde se manejan con frecuencia los conectores de gas y se realiza la carga de las distintas aplicaciones.

Los principios básicos de seguridad son
- Ventilación forzada para evitar la acumulación de gas en el local.
- Equipo eléctrico estándar excepto para ventiladores y sistemas de seguridad.
- Vigilancia continua con sensores de gas en áreas de posibles fugas así como alrededor de las estaciones de carga, con alarma y ventilación doble a un 15% o 20% del LEL y con desconexión de todos los equipos eléctricos que no sean a prueba de explosión en el área de monitorización con un valor del 30 a 35% del límite de explosión inferior, LEL, dejando los ventiladores a máxima velocidad.
- Prueba de fugas, para evitar realizar un proceso de carga en un sistema con fugas.
- Estaciones de carga diseñadas para refrigerantes inflamables y conectadas a sistemas de seguridad.

En muchos casos, los suministradores de estaciones de carga y equipos de detección de gas pueden soportar el diseño de los sistemas de seguridad.

En algunos países, las reglas para el manejo de R290 en contenedores pequeños, son menos estrictas.

4 Diseño del sistema de refrigeración

En muchos casos cuando se produce la transición de refrigerantes no inflamables a R 290, las aplicaciones tienen que ser modificadas por razones de seguridad como se indica en la sección 3.1. Pero, además, estos cambios pueden ser necesarios por otras razones.

Las partes del sistema que contienen refrigerante deben estar de acuerdo con IEC / EN 60335 para que pueda soportar a una presión determinada sin fugas. El lado de alta presión tiene que soportar una sobrepresión de 3.5 veces la presión equivalente a una temperatura de saturación de 70°C, el lado de baja presión tiene que soportar 5 veces la presión equivalente a una temperatura de saturación de 20°C. Esto nos da lo siguiente:
- 87 bar de sobrepresión para el lado de alta presión.
- 36.8 bar de sobrepresión para el lado de baja presión.

Las normas nacionales podrían tener diferentes especificaciones, dependiendo de la aplicación

4.1 Intercambiadores de calor

La eficiencia del sistema de refrigeración no ocasionará el cambio del tamaño del evaporador o del condensador, lo que significa que el área externa se puede mantener como para las aplicaciones con R22 o R404A. A veces el diseño del evaporador necesita alguna modificación, porque el volumen de refrigerante es diferente, de acuerdo con el volumen barrido por el compresor. Para mantener la velocidad del refrigerante en el rango recomendado, de 3 a 5 m/s, puede ser necesario adoptar secciones cruzadas de flujo.
Los evaporadores de aluminio impresos Rollbond no deberían ser utilizados por las altas presiones de rotura requeridas. Hay que tener especial cuidado con el diseño del acumulador del sistema. Cuando se utiliza R22 o R134a el refrigerante es mas pesado que el aceite, mientras que el R290 es menos pesado, se puede ver en la tabla 1. Esto puede ocasionar acumulación de aceite si el acumulador es demasiado grande, especialmente demasiado alto, y el camino que sigue el fluido no garantiza el vaciado suficiente durante la fase de arranque del sistema. Las condiciones para el diseño del evaporador puede verse en el documento CN.82.A .

4.2 Capilar

La experiencia con R290 nos dice que el flujo capilar es similar a R404A. Al menos esto nos permite un buen punto de partida para una optimización.

Como ocurre con el R134a, R404A y R600a, el intercambiador de la línea de aspiración es muy importante para el rendimiento del sistema con R290, no así para el R22, como se ve en la figura 5. La figura muestra el aumento del COP con el recalentamiento desde unos pocos K hasta +32°C en el gas de retorno, donde el rango va desde +20°C hasta aproximadamente +32°C, lo cual es normal para sistemas herméticos pequeños. Este gran aumento en el COP para R290, se debe a un alto calor especifico de vapor. Junto con la necesidad de mantener la carga de refrigerante próxima al máximo posible en el sistema y para mantener bajo el sobrecalentamiento a la salida del evaporador y para prevenir la condensación del aire húmedo en la tubería de aspiración, el intercambiador de la línea de aspiración tienen que tener un alto rendimiento. En muchos casos una prolongación de la línea de aspiración y capilar mejoran el rendimiento. La superficie de contacto entre el capilar y la línea de aspiración debe ser lo mas grande posible.

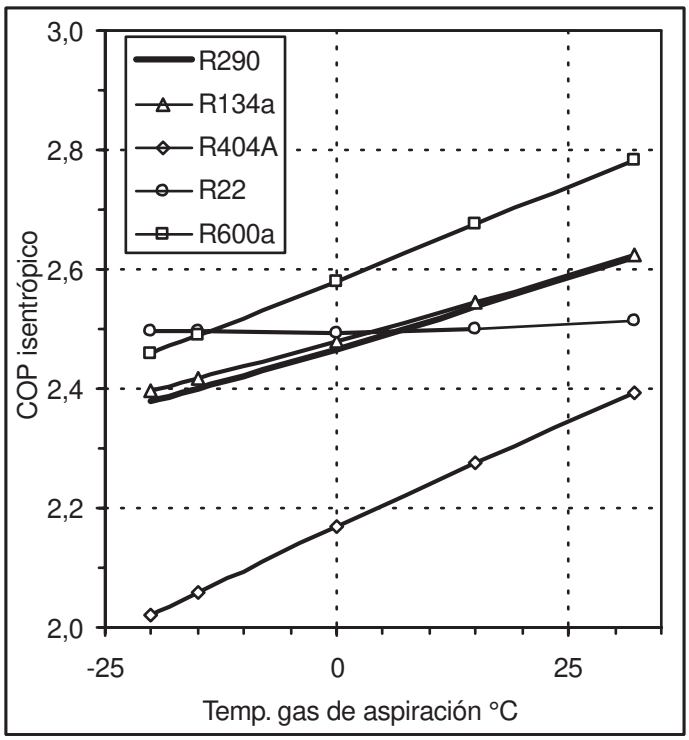


Figura 5: El incremento teórico del COP de diferentes refrigerantes respecto a la temperatura de aspiración con compresión adiabática, intercambio de calor interno, temperatura de evaporación a –25°C, temperatura de condensación de 45 °C, sin subenfriamiento antes del intercambiador de calor interno.

Con un alto sobrecalentamiento, con un buen intercambiador de calor (interno), el COP teórico para R290, R600a y R134a es mayor que para el R22. Con un sobrecalentamiento bajo, el COP de R290, R600a y R134a es menor que para R22. El comportamiento de R290 es similar al R134a, con respecto al intercambiador de calor interno.

4.3 Realización del vacío

Generalmente las reglas utilizadas para el R22, R134a y R404A, sobre evacuación y manejo son validas para el R290. La máxima cantidad de gases no condensables en el sistema es de un 1%. Un elevado nivel de gases no condensables, incrementa el consumo de energía porque la temperatura de condensación es más alta y una proporción del gas transportado es inactivo. Además esto puede aumentar el ruido.

4.4 Limpieza de los componentes

La especificaciones de limpieza son comparables a las de R22 o R134a. La única norma utilizada para la limpieza de los componentes de refrigeración es la DIN 8964, la cual se utiliza en varios países además de Alemania. Especifica el máximo contenido en solubles, insolubles y otros residuos. Los métodos para determinar los contenidos de solubles e insolubles están siendo modificados para el R290, pero en principio los mismos valores son útiles.

5 Mantenimiento

La reparación y mantenimiento de un sistema con R290 requiere un buen equipo bien calificado y preparado. Ver documento CN.73.C. para más detalles. También se deben tener en cuenta las leyes y regulaciones locales. Debido a la inflamabilidad del gas es necesario un manejo cuidadoso, lo cual es un riesgo potencial durante el trabajo en el sistema de refrigeración. Se necesita una buena ventilación de la habitación y la descarga de la bomba de vacío se debe hacer al aire libre. El equipo del servicio técnico tiene que cumplir los requisitos del R290 en concepto de calidad de evacuación y precisión en la carga de refrigerante. Se recomiendan escalas electrónicas para controlar la carga de refrigerante dentro de las necesidades de precisión.

Danfoss no recomienda la conversión de R22, R502 o R134a a R290, porque estos sistemas no están preparados para la utilización de refrigerantes inflamables, además los elementos de seguridad eléctricos no están de acuerdo con las normas necesarias.

Referencias

TS 95006	*Refrigerators, food-freezers and ice-makers using flammable refrigerants*, Safety Requirements, Ammendment to IEC 60 335-2-24, CENELEC, July 1995
CN.86.A	*Driers and Molecular Sieves Desiccants*
CN.82.A	*Evaporators for Refrigerators*
CN.73.C	*Service on Household Refrigerators and Freezers with New Refrigerants*
CN.60.E	*Practical Application of Refrigerant R 600a Isobutane in Domestic Refrigerator Systems*
EN 60335-2-24	*Safety of household and similar appliances Part 2: Particular requirements for refrigerators, food freezers and ice-makers*

La gama de productos Danfoss para la industria de la refrigeración y del aire acondicionado:

Compresores para refrigeración y aire acondicionado
Estos productos incluyen compresores herméticos de pistones, compresores Scroll y unidades condensadoras enfriadas por ventilador. Las aplicaciones típicas son unidades de aire acondicionado, enfriadoras de agua y sistemas de refrigeración comercial.



Compresores y unidades condensadoras
Esta parte de la gama incluye compresores herméticos y unidades condensadoras enfriadas por ventilador para frigoríficos y congeladores de uso doméstico, y para aplicaciones comerciales tales como enfriadores de botellas y dispensadores de bebidas. También ofrecemos compresores para bombas de calor y compresores de 12 y 24 V para pequeños aparatos frigoríficos y congeladores en vehículos comerciales y embarcaciones.



Controles para muebles y vitrinas de refrigeración y congelación
Danfoss ofrece una amplia gama de termostatos electromecánicos adaptados a las necesidades del cliente para refrigeradores y congeladores, controles electrónicos de temperatura con o sin display, y termostatos de servicio para el mantenimiento de muebles frigoríficos y congeladores.



Controles de refrigeración y de aire acondicionado
Nuestra completa gama de productos cubre todas las exigencias de control, seguridad, protección y monitorización de instalaciones de refrigeración y sistemas de aire acondicionado, mecánicos y electrónicos. Estos productos se utilizan en innumerables aplicaciones dentro de los sectores de la refrigeración comercial e industrial y del aire acondicionado.



www.danfoss.com/compressors

Danfoss no acepta ninguna responsabilidad por posibles errores que pudieran aparecer en sus catálogos, folletos o cualquier otro material impreso, reservándose el derecho de alterar sus productos sin previo aviso, incluyéndose los que estén bajo pedido, si estas modificaciones no afectan las características convenidas con el cliente. Todas las marcas comerciales de este material son propiedad de las respectivas compañías. Danfoss y el logotipo Danfoss son marcas comerciales de Danfoss A/S. Reservados todos los derechos.

CN.60.F1.05

Produced by Danfoss August 2001