

El protocolo de Montreal prevé, entre otras cosas, que las sustancias perjudiciales para la capa de ozono, incluidos los HCFC, no se puedan o no se podrán más poner en venta y/o utilizar en aplicaciones de refrigeración y de aire acondicionado.

El protocolo de Kyoto prevé, entre otras cosas, que las sustancias con efecto invernadero, incluidos los HFC, se pueden o podrán limitar en cuanto a su puesta en venta y/o uso en aplicaciones para la refrigeración y el aire acondicionado.

El Reglamento Europeo 2037/2000 y posterior 1005/2009 han definido, entre otras cosas, los plazos y las modalidades para la puesta en venta, utilización, recuperación y tratamiento de los refrigerantes perjudiciales para la capa de ozono en la Unión Europea.

El Reglamento Europeo 842/2006 ha definido, entre otras cosas, la prevención de las fugas de HFC durante y al final del uso de instalaciones de refrigeración y de aire acondicionado fijos; con una correspondiente propuesta de revisión podría establecer restricciones para dichas aplicaciones, limitando el uso de HFC con PCG (GWP) superior a 2500 a partir del 1º de enero de 2017 en la Unión Europea. Las alternativas posibles para convertir y realizar instalaciones son: el uso de un refrigerante con PCG (GWP) superior o inferior a 2500.

Para elegir una solución normalmente se examinan, entre otros factores, las características técnicas de la instalación, las prestaciones actuales y esperadas y las relativas condiciones, así como los costes relacionados con la conversión, la sustitución o la realización, y para terminar los costes actuales y futuros de funcionamiento.

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FÍSICAS

IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES

Componentes	Fórmulas	CAS	CE
Pentafluoroetano (R 125)	$\text{CHF}_2\text{-CF}_3$	[000354-33-6]	206-557-8
1,1,1,2-Tetrafluoroetano (R 134a)	$\text{CH}_2\text{F-CF}_3$	[00811-97-2]	212-377-0
Difluorometano (R 32)	CH_2F_2	[00075-10-5]	200-839-4

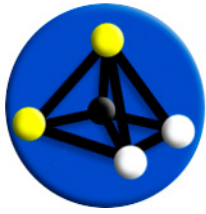
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FÍSICAS

Unidad	UM	R 407A	R 22	R 404A
Masa molar	[Kg/Kmol]	90,1	86,5	97,6
Punto de ebullición 1,01325 bar	[°C]	-45	-40,8	-46,2
Temperatura crítica	[°C]	82,26	96,1	72,05
Presión crítica	[bar]	45,15	49,9	37,29
Densidad crítica	[kg/m ³]	498,9	523,8	486,54
Volúmen crítico	[m ³ /kg]	2,01 E-03	1,91 E-03	1,26 E-03
Densidad, líquido ⁽¹⁾	[kg/m ³]	1145,1	1190,8	1044,1
Densidad, vapor ⁽¹⁾	[kg/m ³]	55,6	44,3	66,4
Calor latente de evaporación ⁽¹⁾	[kJ/kg]	186,5	182,5	140
Capacidad calorífica espec., líquido cp ⁽¹⁾	[kJ/(kgK)]	1,52	1,261	1,54
Capacidad calorífica espec., vapor cp ⁽¹⁾	[kJ/(kgK)]	1,194	0,869	1,22
Relación cp/cv, vapor ⁽¹⁾		1,390	1,377	1,374
Conductibilidad térmica, líquido ⁽¹⁾	[W/(mK)]	0,079	0,086	0,064
Conductibilidad térmica, vapor ⁽¹⁾	[W/(mK)]	0,015	0,011	0,016
Viscosidad, líquido ⁽¹⁾	[mPas]	0,151	0,160	0,128
Viscosidad, vapor ⁽¹⁾	[mPas]	0,013	0,013	0,012
Límites de explosión en aire ⁽²⁾	[Vol.-%]	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Potencial de Calentamiento Global (GWP) ⁽³⁾	[CO ₂ =1 - 100 años]	1990	1810	3784

⁽¹⁾ saturados, t=25°C

⁽²⁾ t=25°C, p=1,01325bar

⁽³⁾ Reg. Eur. 842/2006 Anexo 1 TAR IPCC 2001



PROPIEDADES Y APLICACIÓN

PROPIEDADES ESPECÍFICAS DEL R 407A EN INSTALACIONES CON R 22 Y R 404A

El refrigerante R 407A es un posible sustituto del refrigerante R 22 para reformar las instalaciones existentes.

El uso del refrigerante R 407A para operaciones de *retrofit*, a menudo permite efectuar la conversión sin tener que modificar las tuberías ni las válvulas de expansión presentes en la instalación, por lo que la operación acaba siendo rápida.

El refrigerante R 407A es una alternativa valiosa al R 404A, al ser más eficiente y tener un PCG moderado, contribuye en reducir los costes de funcionamiento y la huella climática en varias aplicaciones. Su compatibilidad con los lubricantes POE y los compresores que utilizan R 404A hacen sí que el proceso de *retrofit* sea muy rápido.

CAMPO DE APLICACIÓN DEL R 407A

El refrigerante R 407A se presenta como sustituto de los refrigerantes R 22 y R 404A.

Ha sido estudiado para utilizarlo en aplicaciones de mediana y baja temperatura, en especial con *chiller* y refrigeradores comerciales; sin embargo no se puede utilizar en aplicaciones que prevean el uso de evaporadores inundados, turbocompresores y colectores donde el lubricante puede separarse.

NIVEL DE PRESIÓN Y DESLIZAMIENTO (GLIDE) DE TEMPERATURA

El punto de ebullición a $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ y su presión de vapor de 25 bar a $53\text{ }^{\circ}\text{C}$ permiten utilizarlo en sistemas con R 22, R 404A o nuevos, realizados con componentes diseñados para 25 bar.

De todas maneras es oportuno efectuar una detenida verificación de la resistencia a la presión del sistema existente.

El deslizamiento de temperatura (glide) en el punto de ebullición normal es de $6,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

POTENCIA FRIGORÍFICA Y EFICIENCIA

Teóricamente, la eficiencia y las prestaciones del R 407A son inferiores que las del R 22, aunque la potencia frigorífica comprobada con mediciones experimentales, arroje unas prestaciones parecidas. Además, el R 407A ofrece una mejor eficiencia energética y un menor GWP con respecto al R 404A. De todas maneras estas diferencias dependen mucho del tipo de sistema.

GESTIÓN DE LOS LUBRICANTES

La operación de *retrofit* de sistemas con R 22 o con R 407A exige que se sustituya el lubricante mineral presente utilizando en su lugar el lubricante POE. El R 407A resulta ser compatible con los lubricantes POE utilizados con R 404A y además está ampliamente homologado por los principales fabricantes de compresores. De todas maneras se recomienda comprobar las pautas para el *retrofit* proporcionadas por los propios fabricantes.

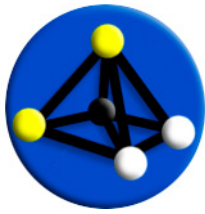
Después de efectuar una conversión o después de realizar sistemas nuevos es siempre oportuno comprobar el buen retorno del lubricante.

HUMEDAD

Independientemente del tipo de refrigerante y de lubricante utilizados, el requisito fundamental es evitar que haya humedad dentro del sistema, ya que podría causar la formación de hielo en el órgano de expansión, corrosión de las superficies metálicas y daños en los devanados del motor. Este riesgo se puede evitar mediante un vaciado adecuado del sistema de refrigeración. Cabe tener en cuenta que también después de operaciones de mantenimiento y de reparación el vacío debería de ser menor que 10 mbar.

FILTRO DESHIDRATADOR

El refrigerante R 407A es compatible con los filtros deshidratadores habituales para HFC, como por ejemplo aquellos para R 407C, 404A o R 507.



COMPATIBILIDAD CON ELASTÓMEROS Y MATERIAS PLÁSTICAS

Los HCFC, y en especial el R 22, presentan propiedades solventes diferentes con respecto a los HFC; esto conlleva una potencial incompatibilidad con las juntas existentes. También en presencia de materiales compatibles cabe tener presente de todas maneras que las juntas están sujetas a procesos de envejecimiento. Por lo tanto se aconseja sustituir los componentes en elastómero ya presentes.

Las siguientes tablas presentan los materiales que son adecuados para el uso con el refrigerante R 407A.

ELASTÓMERO	NEOPRENO	HNBR	NBR	EPDM
POE	+	o	o	+

Criterios de compatibilidad: + buena/ o moderada/ - escasa

Mat. Plásticas	Poliéster	Poliamida	Res. epoxi
POE	o	+	+

Criterios de compatibilidad: + buena/ o moderada/ - escasa

CONVERSIÓN DE SISTEMAS DE R 22 A R 407A

CONTROL Y DOCUMENTACIÓN DEL ESTADO DEL SISTEMA

En vistas de efectuar una actuación de *retrofit* segura y eficaz en el sistema existente es necesario evaluar:

- Condiciones del sistema existente
- Consulta del libro de mantenimiento de la instalación para encontrar eventuales pérdidas
- Gestión de los lubricantes
- Control de la idoneidad de los materiales ya presentes
- Medición de la potencia. La sustitución del refrigerante podría efectivamente crear pérdidas de potencia en el propio sistema
- Medición de las temperaturas y de las presiones para comprobar la presencia de R 22 en el sistema y registrar el comportamiento del sistema en vistas de tener una referencia antes del *retrofit*
- Determinación de la presión esperada, a través de la presión medida, después de poner el R 407A
- Comparación con la resistencia a la presión del sistema

SUSTITUCIÓN DEL LUBRICANTE

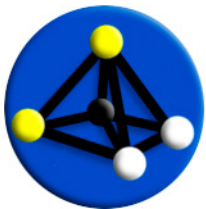
Para efectuar un *retrofit* correcto para pasar de R 22 a R 407A es necesario sustituir el lubricante mineral por un lubricante POE:

- Se vacía del sistema el lubricante mineral apuntando la cantidad extraída
- Se sustituye el filtro deshidratador por un filtro compatible con HFC
- Se añade el lubricante POE aconsejado por los fabricantes del compresor
- Se pone en marcha el sistema para averiguar si hay pérdidas y para comprobar el nivel del lubricante en el compresor

RECUPERACIÓN DE R 22

Una conversión correcta de los sistemas de R 22 a refrigerantes HFC prevé:

- Muestreo y análisis de R 22 para la correspondiente caracterización
- Recuperación del refrigerante R 22 presente en el sistema
- Almacenamiento del refrigerante en adecuados recipientes conformes con las normas
- Recogida, transporte y tratamiento del R 22 sacado del sistema, con arreglo a las normas vigentes



Al recuperar el refrigerante se aconseja pesar la bombona a fin de evitar un llenado excesivo; también se prohíbe sobrepasar los límites de llenado consentidos por la ley. Al final de la operación de recuperación hay que impedir cualquier posibilidad de que penetre humedad, quitando el vacío con nitrógeno seco, y se tiene que apuntar en el registro del sistema el peso del R 22 recuperado.

SUSTITUCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

Para completar las operaciones de conversión del sistema es necesario sustituir los siguientes componentes:

- Filtro deshidratador idóneo para HFC
- Elastómeros presentes, como por ejemplo en junta tórica, electroválvulas, anillos de sello
- Juntas en las válvulas de expansión, o sustitución de la válvula de expansión por un modelo adecuado para R 407A

EXTRACCIÓN Y CONTROL DE LA ESTANQUEIDAD

Antes de proceder con el llenado con R 407A, es necesario efectuar las siguientes operaciones:

- Extraer del sistema el refrigerante R 22 en vistas de efectuar una actividad correcta de recuperación y pesar la cantidad extraída
- Ajustar los controles de presión con arreglo a las características del R 407A, basándose en las tablas de Presión/Temperatura
- Vaciar el sistema hasta valores por debajo de 1 mbar
- Efectuar y documentar una prueba de presión de vacío para averiguar si hay pérdidas. Si se produjera un aumento de la presión, proceder a eliminar la anomalía de estanqueidad antes de llenar el sistema con R 407A

LLENADO CON R 407A

Antes de proceder a llenar el sistema con R 407A cerciorarse de que se cumpla con todas las medidas generales de seguridad.

El llenado con R 407A se puede efectuar solamente a través de la fase líquida de la botella, asegurándose de que el líquido vaporice y que el compresor no aspire líquido.

El peso total de llenado aconsejado oscila entre el 100% y el 95% de la correspondiente masa óptima de R 22.

En los sistemas con receptor de líquido, proceder al llenado con R 407A hasta un máximo del 90% del volumen total. En el caso de sistemas sin receptor de líquido, proceder al llenado con R 407A hasta un 90% de la cantidad extraída de R 22, poner en marcha el sistema y añadir pequeñas cantidades de producto en fase líquida hasta alcanzar los valores deseados.

Es muy importante evitar un llenado excesivo, ya que se podrían tener efectos negativos sobre las prestaciones del propio sistema.

Terminadas dichas operaciones proceder a apuntar en el registro del sistema los datos relativos a la cantidad de producto que se ha puesto en el sistema.

CONTROL DEL RETORNO DEL LUBRICANTE

Durante la primera puesta en marcha del sistema, después de haber efectuado el llenado con R 407A, es necesario comprobar el nivel del lubricante para el compresor.

Si dicho nivel ha disminuido por debajo de los mínimos aceptables, hay que añadir lubricante hasta alcanzar el nivel máximo. Terminadas dichas operaciones se procede a apuntar el tipo de lubricante que se ha añadido y su cantidad total.

OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

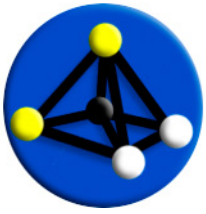
Después de haber llenado el sistema y haber estabilizado las condiciones de funcionamiento, hay que ajustar las configuraciones de la válvula de expansión. Para calcular el recalentamiento utilizar la tabla del vapor y el punto de rocío como temperatura de referencia. Con tal fin, tomar como punto de referencia la entrada del compresor. Ajustar, además, todos los reguladores de presión con arreglo a la tabla del vapor.

ETIQUETADO Y DOCUMENTACIÓN DE CONFORMIDAD CON LAS DISPOSICIONES DE LEY

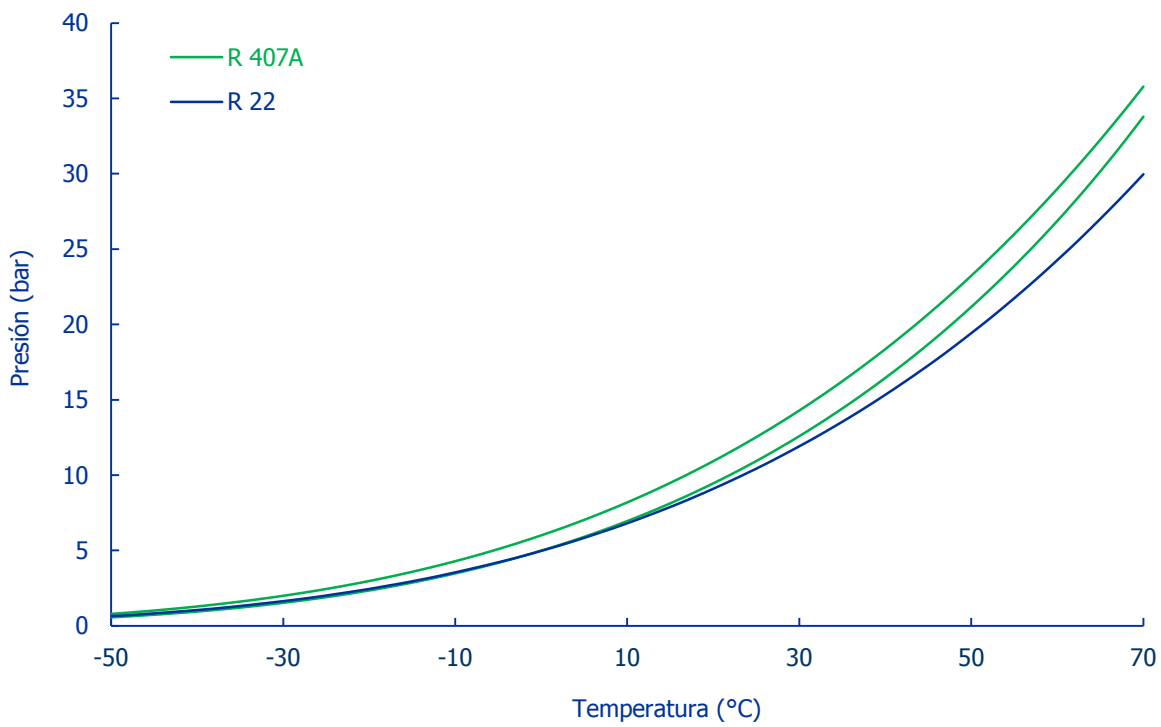
El reglamento EU 842/2006 establece que los sistemas convertidos al R 407A o a otras mezclas de HFC obligatoriamente tienen que tener:

- Un registro del sistema
- Un etiquetado específico con la inscripción: "Contiene gas fluorados con efecto invernadero incluidos en el protocolo de Kyoto"

También es necesario indicar la mezcla refrigerante utilizada para efectuar la conversión del sistema, la cantidad total introducida en las cercanías de las conexiones de servicio y el tipo de lubricante utilizado.



GRÁFICA DE PRESIÓN Y TEMPERATURA DE R 407A Y R 22*



* Fuente: NIST - REFPROP VERSION 9.0

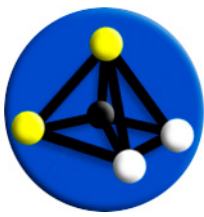
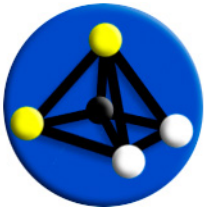


TABLA DE SATURACIÓN R 407A*

T (°C)	R 407A								R 22							
	P ^l (bar)	P ^v (bar)	v ^l (dm ³ /kg)	v ^v (m ³ /kg)	h ^l (kJ/kg)	h ^v (kJ/kg)	s ^l (kJ/kg-K)	s ^v (kJ/kg-K)	P (bar)	v ^l (dm ³ /kg)	v ^v (m ³ /kg)	h ^l (kJ/kg)	h ^v (kJ/kg)	s ^l (kJ/kg-K)	s ^v (kJ/kg-K)	
-60	0,46	0,31	0,690	0,625	120,8	362,9	0,675	1,831	0,38	0,683	0,537	133,3	378,6	0,726	1,877	
-58	0,52	0,35	0,693	0,556	123,4	364,1	0,687	1,825	0,42	0,686	0,483	135,4	379,6	0,736	1,871	
-56	0,58	0,39	0,696	0,497	125,9	365,3	0,699	1,820	0,47	0,688	0,436	137,6	380,5	0,746	1,865	
-54	0,64	0,44	0,699	0,445	128,5	366,5	0,710	1,815	0,52	0,691	0,394	139,7	381,5	0,756	1,859	
-52	0,71	0,50	0,702	0,400	131,0	367,7	0,722	1,810	0,58	0,694	0,357	141,9	382,5	0,766	1,854	
-50	0,79	0,56	0,705	0,359	133,6	368,9	0,733	1,805	0,65	0,697	0,324	144,0	383,4	0,775	1,848	
-48	0,87	0,62	0,708	0,324	136,1	370,1	0,745	1,801	0,71	0,699	0,295	146,2	384,4	0,785	1,843	
-46	0,97	0,69	0,711	0,293	138,7	371,2	0,756	1,796	0,79	0,702	0,268	148,4	385,3	0,794	1,838	
-44	1,06	0,77	0,714	0,265	141,3	372,4	0,767	1,792	0,87	0,705	0,245	150,5	386,3	0,804	1,833	
-42	1,17	0,85	0,717	0,241	143,9	373,6	0,779	1,788	0,96	0,708	0,224	152,7	387,2	0,813	1,828	
-40	1,28	0,94	0,721	0,219	146,4	374,7	0,790	1,784	1,05	0,711	0,205	154,9	388,1	0,823	1,823	
-38	1,41	1,04	0,724	0,199	149,0	375,9	0,801	1,780	1,15	0,714	0,188	157,1	389,1	0,832	1,819	
-36	1,54	1,15	0,728	0,182	151,6	377,0	0,812	1,776	1,26	0,717	0,173	159,3	390,0	0,841	1,814	
-34	1,68	1,26	0,731	0,166	154,2	378,2	0,823	1,773	1,38	0,720	0,159	161,5	390,9	0,851	1,810	
-32	1,83	1,39	0,735	0,152	156,9	379,3	0,833	1,769	1,51	0,723	0,147	163,7	391,8	0,860	1,806	
-30	1,99	1,52	0,738	0,140	159,5	380,4	0,844	1,766	1,64	0,726	0,136	165,9	392,7	0,869	1,802	
-28	2,17	1,66	0,742	0,128	162,1	381,6	0,855	1,763	1,78	0,729	0,125	168,1	393,6	0,878	1,798	
-26	2,35	1,82	0,745	0,118	164,7	382,7	0,866	1,760	1,93	0,733	0,116	170,3	394,5	0,887	1,794	
-24	2,55	1,98	0,749	0,109	167,4	383,8	0,876	1,757	2,10	0,736	0,107	172,6	395,3	0,896	1,790	
-22	2,75	2,16	0,753	0,100	170,1	384,9	0,887	1,754	2,27	0,739	0,100	174,8	396,2	0,905	1,786	
-20	2,97	2,34	0,757	0,093	172,7	386,0	0,897	1,751	2,45	0,743	0,093	177,0	397,1	0,913	1,783	
-18	3,21	2,54	0,761	0,086	175,4	387,0	0,908	1,748	2,65	0,746	0,086	179,3	397,9	0,922	1,779	
-16	3,46	2,75	0,765	0,079	178,1	388,1	0,918	1,745	2,85	0,750	0,080	181,6	398,8	0,931	1,776	
-14	3,72	2,98	0,769	0,073	180,8	389,1	0,928	1,743	3,07	0,753	0,075	183,8	399,6	0,940	1,772	
-12	4,00	3,22	0,773	0,068	183,5	390,2	0,939	1,740	3,30	0,757	0,070	186,1	400,4	0,949	1,769	
-10	4,29	3,47	0,778	0,063	186,2	391,2	0,949	1,738	3,55	0,761	0,065	188,4	401,2	0,957	1,766	
-8	4,60	3,74	0,782	0,059	188,9	392,2	0,959	1,735	3,81	0,764	0,061	190,7	402,0	0,966	1,763	
-6	4,92	4,03	0,787	0,055	191,7	393,2	0,970	1,733	4,08	0,768	0,057	193,0	402,8	0,974	1,760	
-4	5,27	4,33	0,791	0,051	194,4	394,2	0,980	1,731	4,36	0,772	0,054	195,3	403,6	0,983	1,757	
-2	5,63	4,65	0,796	0,048	197,2	395,2	0,990	1,729	4,66	0,776	0,050	197,7	404,3	0,991	1,754	
0	6,01	4,98	0,801	0,045	200,0	396,2	1,000	1,726	4,98	0,780	0,047	200,0	405,1	1,000	1,751	
2	6,40	5,34	0,806	0,042	202,8	397,1	1,010	1,724	5,31	0,785	0,044	202,4	405,8	1,009	1,748	
4	6,82	5,71	0,811	0,039	205,6	398,0	1,020	1,722	5,66	0,789	0,042	204,7	406,5	1,017	1,745	
6	7,26	6,10	0,816	0,036	208,4	398,9	1,030	1,720	6,03	0,793	0,039	207,1	407,2	1,025	1,742	
8	7,72	6,52	0,821	0,034	211,3	399,8	1,040	1,718	6,41	0,798	0,037	209,5	407,9	1,034	1,740	
10	8,20	6,95	0,827	0,032	214,2	400,7	1,050	1,716	6,81	0,802	0,035	211,9	408,6	1,042	1,737	
12	8,70	7,40	0,832	0,030	217,0	401,5	1,060	1,714	7,23	0,807	0,033	214,3	409,2	1,051	1,734	
14	9,22	7,88	0,838	0,028	219,9	402,4	1,070	1,712	7,67	0,812	0,031	216,7	409,9	1,059	1,732	
16	9,77	8,38	0,844	0,026	222,9	403,2	1,080	1,710	8,12	0,816	0,029	219,1	410,5	1,067	1,729	
18	10,34	8,90	0,850	0,025	225,8	404,0	1,090	1,708	8,60	0,821	0,028	221,6	411,1	1,076	1,726	
20	10,93	9,45	0,857	0,023	228,7	404,7	1,100	1,706	9,10	0,827	0,026	224,1	411,7	1,084	1,724	
22	11,55	10,03	0,863	0,022	231,7	405,5	1,110	1,705	9,62	0,832	0,025	226,5	412,2	1,092	1,721	
24	12,20	10,63	0,870	0,021	234,7	406,2	1,120	1,703	10,16	0,837	0,023	229,0	412,8	1,100	1,719	
26	12,87	11,25	0,877	0,020	237,7	406,9	1,130	1,701	10,72	0,843	0,022	231,6	413,3	1,109	1,716	
28	13,57	11,90	0,884	0,018	240,8	407,5	1,140	1,699	11,31	0,848	0,021	234,1	413,8	1,117	1,714	
30	14,30	12,59	0,892	0,017	243,9	408,1	1,150	1,697	11,92	0,854	0,020	236,6	414,3	1,125	1,711	
32	15,05	13,30	0,899	0,016	247,0	408,7	1,160	1,695	12,55	0,860	0,019	239,2	414,7	1,133	1,709	
34	15,84	14,04	0,908	0,015	250,1	409,2	1,170	1,693	13,21	0,866	0,018	241,8	415,1	1,142	1,706	
36	16,65	14,81	0,916	0,014	253,3	409,7	1,180	1,690	13,89	0,873	0,017	244,4	415,5	1,150	1,704	
38	17,49	15,61	0,925	0,014	256,5	410,2	1,190	1,688	14,60	0,879	0,016	247,0	415,9	1,158	1,701	
40	18,37	16,45	0,934	0,013	259,7	410,6	1,200	1,686	15,34	0,886	0,015	249,7	416,3	1,167	1,699	
42	19,28	17,32	0,944	0,012	262,9	411,0	1,210	1,684	16,10	0,893	0,014	252,3	416,6	1,175	1,696	
44	20,22	18,23	0,954	0,011	266,2	411,3	1,220	1,681	16,89	0,900	0,014	255,0	416,8	1,183	1,693	
46	21,19	19,17	0,964	0,011	269,6	411,5	1,230	1,679	17,70	0,908	0,013	257,7	417,1	1,191	1,691	
48	22,20	20,15	0,976	0,010	273,0	411,7	1,241	1,676	18,55	0,916	0,012	260,5	417,3	1,200	1,688	
50	23,24	21,17	0,988	0,010	276,4	411,9	1,251	1,674	19,43	0,924	0,012	263,3	417,4	1,208	1,685	
52	24,32	22,22	1,000	0,009	279,9	411,9	1,261	1,671	20,33	0,932	0,011	266,1	417,6	1,216	1,682	
54	25,44	23,32	1,014	0,009	283,4	411,9	1,272	1,668	21,27	0,941	0,010	268,9	417,6	1,225	1,680	
56	26,59	24,46	1,028	0,008	287,1	411,8	1,283	1,664	22,24	0,951	0,010	271,8	417,7	1,233	1,677	
58	27,79	25,64	1,044	0,008	290,7	411,5	1,293	1,661	23,24	0,960	0,009	274,7	417,6	1,242	1,674	
60	29,02	26,87	1,060	0,007	294,5	411,2	1,304	1,657	24,28	0,971	0,009	277,6	417,6	1,250	1,671	
62	30,29	28,15	1,079	0,007	298,4	410,8	1,316	1,653	25,34	0,981	0,009	280,6	417,4	1,259	1,667	
64	31,60	29,48	1,099	0,006	302,3	410,1	1,327	1,649	26,45	0,993	0,008	283,6	417,2	1,268	1,664	
66	32,96	30,86	1,121	0,006	306,4	409,4	1,339	1,644	27,59	1,005	0,008	286,7	416,9	1,277	1,660	
68	34,36	32,29	1,146	0,005	310,7	408,4	1,351	1,639	28,76	1,018	0,007	289,9	416,6	1,286	1,657	
70	35,79	33,78	1,175	0,005	315,1	407,1	1,363	1,633	29,97	1,031	0,007	293,1	416,1	1,295	1,653	

* Fuente: NIST – REFPROP VERSION 9.0
 *Referencia líquido: punto de burbuja
 *Referencia gas: punto de rocío



CONVERSIÓN DE SISTEMAS DE R 404A R 407A

CONTROL Y DOCUMENTACIÓN DEL ESTADO DEL SISTEMA

En vistas de efectuar una actuación de *retrofit* segura y eficaz en el sistema existente es necesario evaluar:

- Condiciones del sistema existente
- Consulta del registro para encontrar eventuales pérdidas
- Gestión de los lubricantes
- Control de la idoneidad de los materiales ya presentes
- Medición de la potencia. La sustitución del refrigerante podría efectivamente crear pérdidas de potencia en el propio sistema
- Medición de las temperaturas y de las presiones para comprobar la presencia de R 404A en el sistema y registrar el comportamiento del sistema en vistas de tener una referencia antes del *retrofit*
- Determinación de la presión esperada, a través de la presión medida, después de poner el R 407A
- Comparación con la resistencia a la presión del sistema

RECUPERACIÓN DE R 404A

Un proceso correcto de retrofit de R 404A a R 407A prevé:

- Muestreo y análisis de R 404A para la correspondiente caracterización
- Actuación técnica de vaciado del refrigerante R 404A presente en el sistema
- Almacenamiento del refrigerante en adecuados recipientes conformes con las normas
- Recogida, transporte y tratamiento del R 404A sacado del sistema, con arreglo a las normas vigentes

Al recuperar el refrigerante se aconseja pesar la bombona a fin de evitar un llenado excesivo; también se prohíbe sobrepasar los límites de llenado consentidos por la ley.

Al final de la operación de recuperación hay que impedir cualquier posibilidad de que penetre humedad, quitando el vacío con nitrógeno seco, y se tiene que apuntar en el registro del sistema el peso del R 404A recuperado.

SUSTITUCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

Para completar las operaciones de conversión del sistema es necesario sustituir los siguientes componentes:

- Filtro deshidratador
- Elastómeros presentes, como por ejemplo en junta tórica, electroválvulas, anillos de sello, juntas
- Válvulas solenoide y de globo gastadas o viejas, en vistas de minimizar las pérdidas

EXTRACCIÓN Y CONTROL DE LA ESTANQUEIDAD

Antes de proceder con el llenado con R 407A, es necesario efectuar las siguientes operaciones:

- Extraer del sistema el refrigerante R 404A en vistas de efectuar una actividad correcta de recuperación y pesar la cantidad extraída
- Ajustar los controles de presión con arreglo a las características del R 407A, basándose en las tablas de Presión/Temperatura
- Vaciar el sistema hasta valores por debajo de 1 mbar
- Efectuar y documentar una prueba de presión de vacío para averiguar si hay pérdidas. Si se produjera un aumento de la presión, proceder a eliminar la anomalía de estanqueidad antes de llenar el sistema con R 407A

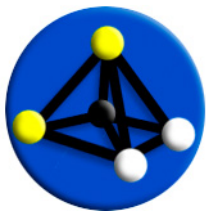
LLENADO CON R 407A

Antes de proceder a llenar el sistema con R 407A cerciorarse de que se cumpla con todas las medidas generales de seguridad.

El llenado con R 407A se puede efectuar solamente en la fase líquida en el sistema en marcha, asegurándose de que el líquido vaporice y que el compresor no aspire líquido.

El peso total de llenado aconsejado oscila entre el 100% y el 95% de la correspondiente masa óptima de R 404A.

En los sistemas con receptor de líquido, proceder al llenado con R 407A hasta un máximo del 90% del volumen total.



Es muy importante evitar un llenado excesivo, ya que se podrían tener efectos negativos sobre las prestaciones del propio sistema. Terminadas dichas operaciones proceder a apuntar en el registro del sistema los datos relativos a la cantidad de producto que se ha puesto en el sistema.

CONTROL DEL RETORNO DEL LUBRICANTE

Durante la primera puesta en marcha del sistema, después de haber efectuado el llenado con R 407A, es necesario comprobar el nivel del lubricante para el compresor.

Si dicho nivel ha disminuido por debajo de los mínimos aceptables, hay que añadir lubricante hasta alcanzar el nivel máximo. Terminadas dichas operaciones se procede a apuntar el tipo de lubricante que se ha añadido y su cantidad total.

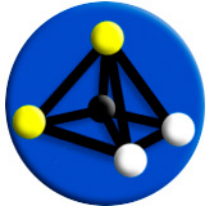
OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

Después de haber llenado el sistema y haber estabilizado las condiciones de funcionamiento, hay que ajustar las configuraciones de la válvula de expansión. Para calcular el recalentamiento utilizar la tabla del vapor y el punto de rocío como temperatura de referencia. Con tal fin, tomar como punto de referencia la entrada del compresor. Ajustar, además, todos los reguladores de presión con arreglo a la tabla del vapor.

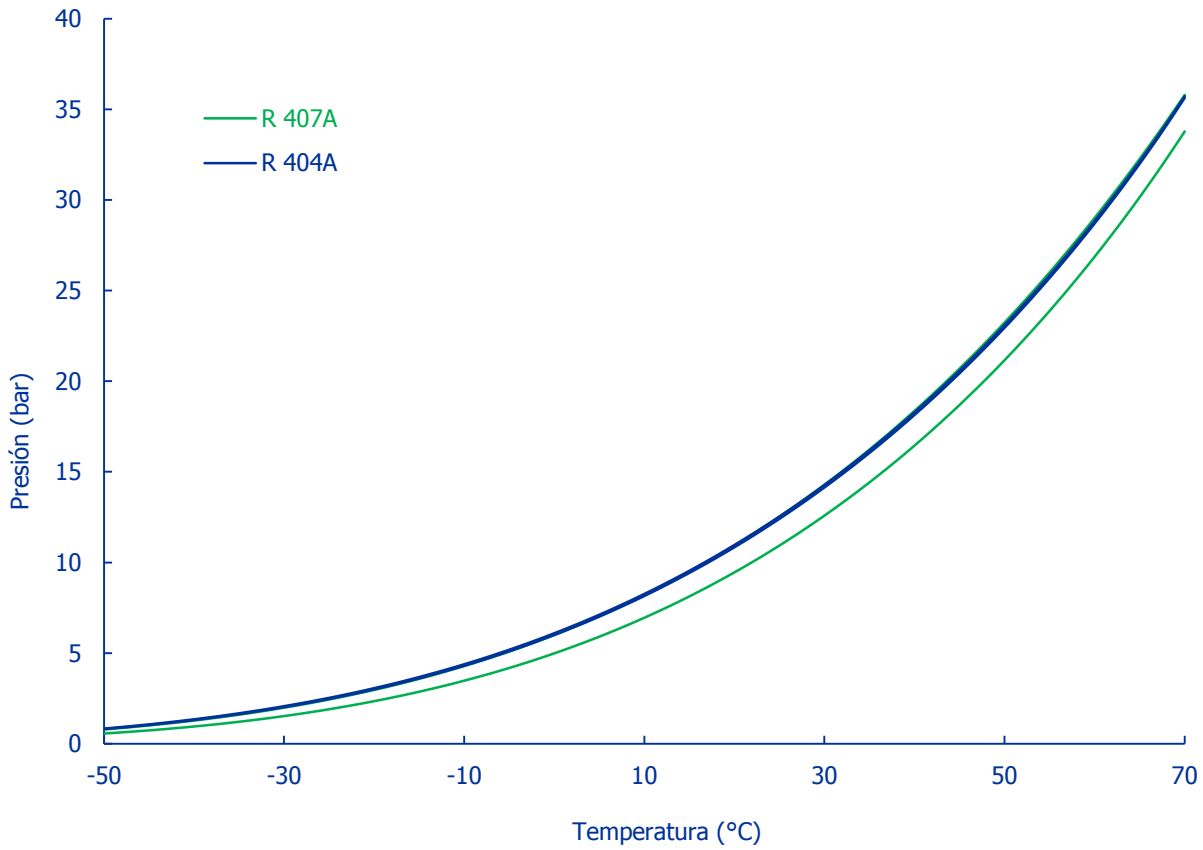
ETIQUETADO Y DOCUMENTACIÓN DE CONFORMIDAD CON LAS DISPOSICIONES DE LEY

El reglamento EU 842/2006 establece que los sistemas convertidos al R 407A o a otras mezclas de HFC obligatoriamente tienen que tener:

- Un registro del sistema
 - Un etiquetado específico con la inscripción: "Contiene gas fluorados con efecto invernadero incluidos en el protocolo de Kyoto"
- También es necesario indicar la mezcla refrigerante utilizada para efectuar la conversión del sistema, la cantidad total introducida en las cercanías de las conexiones de servicio y el tipo de lubricante utilizado.



GRÁFICA DE PRESIÓN Y TEMPERATURA DE R 407A Y R 404A*



* Fuente: NIST – REFPROP VERSION 9.0

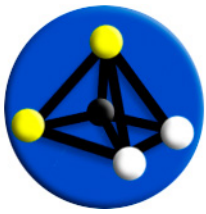


TABLA DE SATURACIÓN R 407A*

T (°C)	R 407A								R 404A							
	P ^l (bar)	P ^v (bar)	v ^l (dm ³ /kg)	v ^v (m ³ /kg)	h ^l (kJ/kg)	h ^v (kJ/kg)	s ^l (kJ/kg-K)	s ^v (kJ/kg-K)	P ^l (bar)	P ^v (bar)	v ^l (dm ³ /kg)	v ^v (m ³ /kg)	h ^l (kJ/kg)	h ^v (kJ/kg)	s ^l (kJ/kg-K)	s ^v (kJ/kg-K)
-60	0,46	0,31	0,690	0,625	120,8	362,9	0,675	1,831	0,50	0,47	0,742	0,372	122,2	331,4	0,681	1,665
-58	0,52	0,35	0,693	0,556	123,4	364,1	0,687	1,825	0,56	0,53	0,745	0,335	124,7	332,6	0,693	1,662
-56	0,58	0,39	0,696	0,497	125,9	365,3	0,699	1,820	0,62	0,59	0,749	0,302	127,2	333,9	0,704	1,658
-54	0,64	0,44	0,699	0,445	128,5	366,5	0,710	1,815	0,69	0,66	0,752	0,273	129,6	335,1	0,715	1,655
-52	0,71	0,50	0,702	0,400	131,0	367,7	0,722	1,810	0,76	0,73	0,755	0,248	132,1	336,3	0,727	1,652
-50	0,79	0,56	0,705	0,359	133,6	368,9	0,733	1,805	0,84	0,81	0,759	0,225	134,6	337,5	0,738	1,649
-48	0,87	0,62	0,708	0,324	136,1	370,1	0,745	1,801	0,93	0,90	0,762	0,205	137,1	338,7	0,749	1,646
-46	0,97	0,69	0,711	0,293	138,7	371,2	0,756	1,796	1,02	0,99	0,766	0,187	139,6	339,9	0,760	1,644
-44	1,06	0,77	0,714	0,265	141,3	372,4	0,767	1,792	1,13	1,09	0,770	0,171	142,1	341,1	0,771	1,641
-42	1,17	0,85	0,717	0,241	143,9	373,6	0,779	1,788	1,24	1,19	0,773	0,156	144,6	342,3	0,782	1,639
-40	1,28	0,94	0,721	0,219	146,4	374,7	0,790	1,784	1,35	1,31	0,777	0,143	147,2	343,5	0,793	1,637
-38	1,41	1,04	0,724	0,199	149,0	375,9	0,801	1,780	1,48	1,43	0,781	0,131	149,7	344,7	0,803	1,634
-36	1,54	1,15	0,728	0,182	151,6	377,0	0,812	1,776	1,61	1,57	0,785	0,121	152,2	345,9	0,814	1,632
-34	1,68	1,26	0,731	0,166	154,2	378,2	0,823	1,773	1,76	1,71	0,789	0,111	154,8	347,1	0,825	1,630
-32	1,83	1,39	0,735	0,152	156,9	379,3	0,833	1,769	1,91	1,86	0,793	0,103	157,4	348,3	0,835	1,629
-30	1,99	1,52	0,738	0,140	159,5	380,4	0,844	1,766	2,08	2,02	0,797	0,095	159,9	349,4	0,846	1,627
-28	2,17	1,66	0,742	0,128	162,1	381,6	0,855	1,763	2,25	2,20	0,801	0,088	162,5	350,6	0,857	1,625
-26	2,35	1,82	0,745	0,118	164,7	382,7	0,866	1,760	2,44	2,38	0,805	0,081	165,1	351,8	0,867	1,623
-24	2,55	1,98	0,749	0,109	167,4	383,8	0,876	1,757	2,64	2,57	0,810	0,075	167,7	352,9	0,877	1,622
-22	2,75	2,16	0,753	0,100	170,1	384,9	0,887	1,754	2,85	2,78	0,814	0,070	170,3	354,0	0,888	1,620
-20	2,97	2,34	0,757	0,093	172,7	386,0	0,897	1,751	3,07	3,00	0,818	0,065	173,0	355,2	0,898	1,619
-18	3,21	2,54	0,761	0,086	175,4	387,0	0,908	1,748	3,31	3,24	0,823	0,060	175,6	356,3	0,909	1,618
-16	3,46	2,75	0,765	0,079	178,1	388,1	0,918	1,745	3,56	3,48	0,828	0,056	178,3	357,4	0,919	1,616
-14	3,72	2,98	0,769	0,073	180,8	389,1	0,928	1,743	3,82	3,74	0,833	0,052	180,9	358,5	0,929	1,615
-12	4,00	3,22	0,773	0,068	183,5	390,2	0,939	1,740	4,10	4,02	0,837	0,049	183,6	359,6	0,939	1,614
-10	4,29	3,47	0,778	0,063	186,2	391,2	0,949	1,738	4,39	4,31	0,843	0,046	186,3	360,7	0,949	1,613
-8	4,60	3,74	0,782	0,059	188,9	392,2	0,959	1,735	4,70	4,61	0,848	0,043	189,0	361,7	0,960	1,612
-6	4,92	4,03	0,787	0,055	191,7	393,2	0,970	1,733	5,03	4,94	0,853	0,040	191,7	362,8	0,970	1,611
-4	5,27	4,33	0,791	0,051	194,4	394,2	0,980	1,731	5,37	5,27	0,858	0,037	194,5	363,8	0,980	1,610
-2	5,63	4,65	0,796	0,048	197,2	395,2	0,990	1,729	5,73	5,63	0,864	0,035	197,2	364,8	0,990	1,609
0	6,01	4,98	0,801	0,045	200,0	396,2	1,000	1,726	6,10	6,00	0,870	0,033	200,0	365,8	1,000	1,608
2	6,40	5,34	0,806	0,042	202,8	397,1	1,010	1,724	6,50	6,40	0,875	0,031	202,8	366,8	1,010	1,607
4	6,82	5,71	0,811	0,039	205,6	398,0	1,020	1,722	6,91	6,81	0,881	0,029	205,6	367,8	1,020	1,606
6	7,26	6,10	0,816	0,036	208,4	398,9	1,030	1,720	7,34	7,24	0,888	0,027	208,4	368,7	1,030	1,605
8	7,72	6,52	0,821	0,034	211,3	399,8	1,040	1,718	7,80	7,69	0,894	0,026	211,3	369,7	1,040	1,604
10	8,20	6,95	0,827	0,032	214,2	400,7	1,050	1,716	8,27	8,16	0,901	0,024	214,1	370,6	1,050	1,603
12	8,70	7,40	0,832	0,030	217,0	401,5	1,060	1,714	8,77	8,65	0,907	0,023	217,0	371,5	1,060	1,602
14	9,22	7,88	0,838	0,028	219,9	402,4	1,070	1,712	9,28	9,16	0,914	0,021	219,9	372,3	1,070	1,601
16	9,77	8,38	0,844	0,026	222,9	403,2	1,080	1,710	9,82	9,70	0,922	0,020	222,8	373,2	1,080	1,600
18	10,34	8,90	0,850	0,025	225,8	404,0	1,090	1,708	10,39	10,26	0,929	0,019	225,8	374,0	1,090	1,599
20	10,93	9,45	0,857	0,023	228,7	404,7	1,100	1,706	10,97	10,84	0,937	0,018	228,8	374,7	1,100	1,598
22	11,55	10,03	0,863	0,022	231,7	405,5	1,110	1,705	11,58	11,45	0,945	0,017	231,8	375,5	1,110	1,597
24	12,20	10,63	0,870	0,021	234,7	406,2	1,120	1,703	12,22	12,09	0,953	0,016	234,8	376,2	1,120	1,596
26	12,87	11,25	0,877	0,020	237,7	406,9	1,130	1,701	12,88	12,75	0,962	0,015	237,8	376,9	1,130	1,595
28	13,57	11,90	0,884	0,018	240,8	407,5	1,140	1,699	13,57	13,43	0,971	0,014	240,9	377,5	1,140	1,594
30	14,30	12,59	0,892	0,017	243,9	408,1	1,150	1,697	14,28	14,14	0,981	0,013	244,0	378,1	1,150	1,593
32	15,05	13,30	0,899	0,016	247,0	408,7	1,160	1,695	15,03	14,89	0,991	0,012	247,2	378,7	1,160	1,592
34	15,84	14,04	0,908	0,015	250,1	409,2	1,170	1,693	15,80	15,66	1,002	0,012	250,4	379,2	1,170	1,590
36	16,65	14,81	0,916	0,014	253,3	409,7	1,180	1,690	16,60	16,46	1,013	0,011	253,6	379,7	1,181	1,589
38	17,49	15,61	0,925	0,014	256,5	410,2	1,190	1,688	17,43	17,29	1,024	0,010	256,9	380,1	1,191	1,587
40	18,37	16,45	0,934	0,013	259,7	410,6	1,200	1,686	18,29	18,15	1,037	0,010	260,2	380,4	1,201	1,586
42	19,28	17,32	0,944	0,012	262,9	411,0	1,210	1,684	19,19	19,04	1,050	0,009	263,5	380,7	1,212	1,584
44	20,22	18,23	0,954	0,011	266,2	411,3	1,220	1,681	20,12	19,97	1,064	0,009	267,0	380,9	1,222	1,582
46	21,19	19,17	0,964	0,011	269,6	411,5	1,230	1,679	21,08	20,93	1,079	0,008	270,4	381,1	1,233	1,580
48	22,20	20,15	0,976	0,010	273,0	411,7	1,241	1,676	22,07	21,92	1,095	0,008	274,0	381,1	1,243	1,577
50	23,24	21,17	0,988	0,010	276,4	411,9	1,251	1,674	23,11	22,96	1,112	0,007	277,6	381,0	1,254	1,575
52	24,32	22,22	1,000	0,009	279,9	411,9	1,261	1,671	24,18	24,03	1,131	0,007	281,3	380,8	1,265	1,572
54	25,44	23,32	1,014	0,009	283,4	411,9	1,272	1,668	25,28	25,14	1,152	0,006	285,1	380,5	1,277	1,569
56	26,59	24,46	1,028	0,008	287,1	411,8	1,283	1,664	26,43	26,29	1,175	0,006	289,0	380,0	1,288	1,565
58	27,79	25,64	1,044	0,008	290,7	411,5	1,293	1,661	27,62	27,48	1,201	0,006	293,0	379,3	1,300	1,561
60	29,02	26,87	1,060	0,007	294,5	411,2	1,304	1,657	28,85	28,71	1,230	0,005	297,2	378,4	1,312	1,556
62	30,29	28,15	1,079	0,007	298,4	410,8	1,316	1,653	30,12	29,99	1,264	0,005	301,6	377,2	1,325	1,550
64	31,60	29,48	1,099	0,006	302,3	410,1	1,327	1,649	31,45	31,32	1,304	0,004	306,2	375,5	1,338	1,544
66	32,96	30,86	1,121	0,006	306,4	409,4	1,339	1,644	32,82	32,70	1,355	0,004	311,3	373,3	1,353	1,535
68	34,36	32,29	1,146	0,005	310,7	408,4	1,351	1,639	34,24	34,14	1,422	0,004	317,0	370,1	1,369	1,524
70	35,80	33,78	1,175	0,005	315,1	407,1	1,363	1,633	35,73	35,64	1,526	0,003	324,0	365,0	1,388	1,508

* Fuente: NIST – REFPROP VERSION 9.0
 *Referencia líquido: punto de burbuja
 *Referencia gas: punto de rocío