

7-10-2017

COMPARATIVA DE NUEVOS GASES ECOLÓGICOS

JOSE LUIS URIBE-ECHEBARRIA (1)
JAVIER MARTINEZ DE ILARDUYA (2)
LEIRE LONBIDE INTXAUSTI (3)

FRINSA S.L.

- (1) frinsasl@frinsasl.com
- (2) javierilarduya@gmail.com
- (3) lonbide@gmail.com

ÁREA TEMÁTICA:

1. REFRIGERANTES

1.1 EXPERIENCIA EN LA SUSTITUCIÓN DE
REFRIGERANTES EN INSTALACIONES

1. RESUMEN

Con motivo de la prohibición del uso de refrigerantes de alto PCA a partir del año 2020 y la necesidad de sustituirlos por otros con menor impacto atmosférico, se ha procedido a la realización de este Estudio Comparativo de Gases Ecológicos con la intención de ofrecer una herramienta de trabajo a instaladores y mantenedores frigoristas que les sirva para la elección del refrigerante alternativo más apropiado.

Los refrigerantes que se han tomado como patrón y que sirven de referencia para la evaluación de los alternativos son el R134A (en Media Temperatura) y el R404A (en Media y Baja Temperatura). Los diferentes ensayos de cada grupo se han realizado utilizando la misma instalación frigorífica, la misma carga térmica y variando únicamente el refrigerante en el dispositivo de expansión electrónico.

Los resultados de los distintos ensayos han sido reflejados tanto mediante “gráficos de ciclo” como mediante valores numéricos.

Además, para testar cómo afecta al rendimiento de la instalación el cambio de refrigerante en sistemas de expansión fija, se han realizado para algunos de los refrigerantes alternativos estudiados ajustes en el dispositivo de expansión, en concreto modificaciones del recalentamiento y del tamaño de tobera, obteniéndose mejoras en el funcionamiento del sistema.

2. INTRODUCCIÓN

El Objeto del estudio es dotar de una herramienta tanto a Instaladores y Mantenedores, como Proyectistas y Distribuidores de gases refrigerantes, para poder elegir el refrigerante más adecuado a sus necesidades, debido a la gran cantidad de nuevos gases que han aparecido en el mercado. Hay que mencionar que este trabajo se ha realizado dentro del programa TKgune del Gobierno Vasco.

TKgune es una Red de Innovación, Transferencia de Tecnología y Desarrollo Competitivo de las empresas para la implantación y mejora de la tecnología, desarrollando una oferta especializada, que incluye formación avanzada y servicios técnicos de valor añadido en el ámbito de proyectos de I+D+i, para el desarrollo de dinámicas de innovación y mejora continua de los procesos y productos clave de las PYMEs, que les ayude a acceder a mercados emergentes y de alto valor añadido.

En **TKgune** participan centros de Formación Profesional con la colaboración del Gobierno Vasco. **TKgune** se articula en cinco **ENTORNOS ESTRATÉGICOS**, los cuales abarcan los siguientes ámbitos tecnológicos: **Automatización, Energía, Automoción, Fabricación e Industrias Creativas**.

A través de la red de centros y profesorado de Formación Profesional del entorno de ENERGÍA en el que participa el Centro Integrado de Formación Profesional de Construcción y Eficiencia Energética de Vitoria, Eraiken CIFP Construcción LHII., ofrecemos la posibilidad de asistencia en la implantación y/o mejora de nuevos procesos de trabajo. La empresa dispondrá así de tutorización personalizada de nuestros profesionales, como la posibilidad de utilizar nuestra red de centros como banco de pruebas, previo a la implantación del proceso productivo.

Por iniciativa de la empresa FRINSA S.L., el centro ERAIKEN ha realizado este proyecto que consiste en analizar cómo se comportan los nuevos gases refrigerantes, entre los que se encuentran los nuevos refrigerantes ecológicos, destinados a sustituir los que se utilizan actualmente, en instalaciones tradicionales de climatización, conservación y congelación.

Como es sabido, no podemos hablar de un gas ideal que encaje en todo tipo de instalaciones. Por ello, es necesario estudiar cada caso particular, las condiciones de aplicación, teniendo en cuenta que tenemos que conseguir la máxima eficiencia energética, cumpliendo la normativa medioambiental, sin perjudicar el rendimiento de la instalación y siendo viable económicamente.

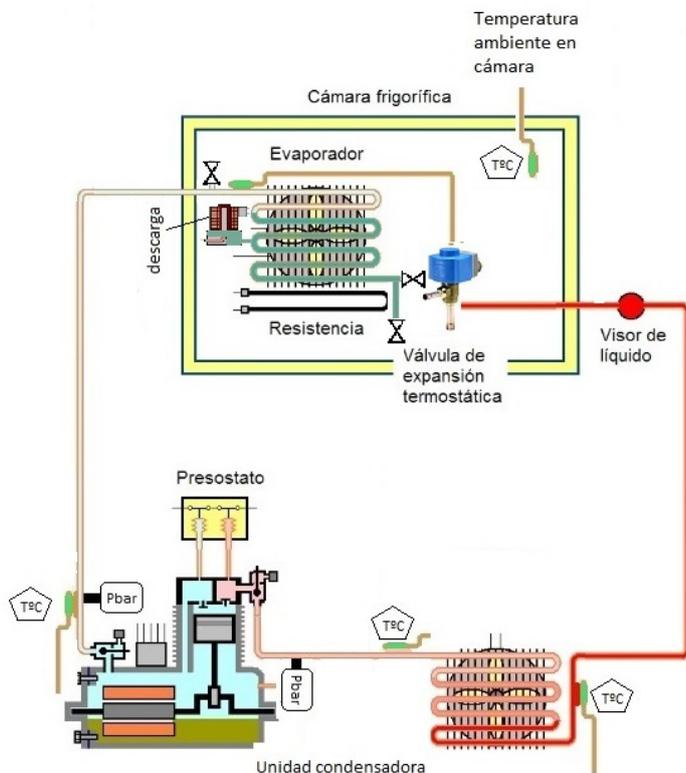
Este escenario obliga a proyectistas e instaladores, sobretodo, sin olvidar a los conservadores-reparadores, a tener en consideración una nueva generación de gases refrigerantes o frigorígenos que aún no se encuentran suficientemente testados.

Como consecuencia de este nuevo escenario, se ha realizado un estudio para clarificar las características y consecuencias de utilizar estos nuevos refrigerantes tanto en instalaciones nuevas como en instalaciones que se encuentran en funcionamiento.

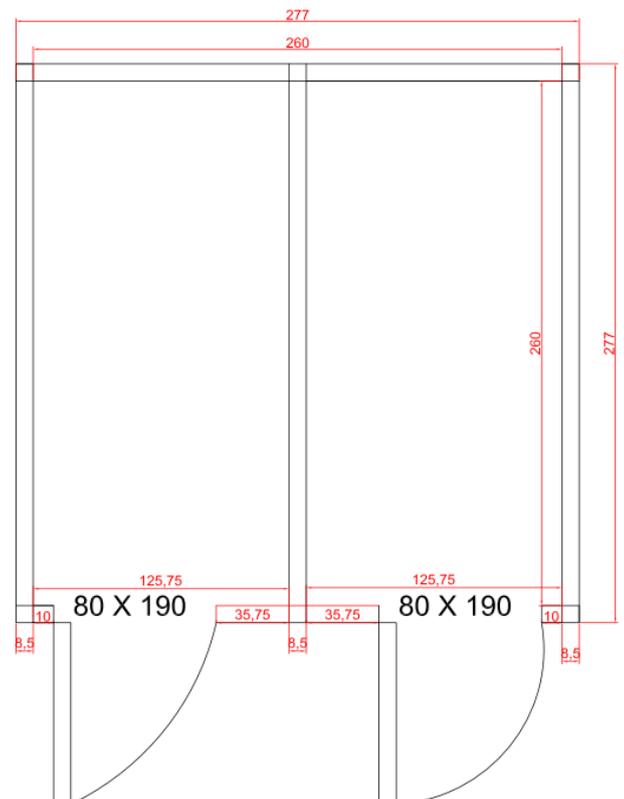
El estudio ha consistido en la comprobación tanto del comportamiento, así como de las características determinadas por los fabricantes de los refrigerantes nuevos, es decir, algunos refrigerantes que tengan vigencia hasta el 2020.

Para ello se instalaron dos cámaras frigoríficas de idénticas características constructivas que se encontraban en idénticas condiciones ambientales y se comprobaron sus propiedades y características.

3. CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN



1. Ilustración. *ESQUEMA FRIGORÍFICO*



2. Ilustración. *PLANTA DE LAS CÁMARA FRIGORÍFICAS*



3. Ilustración. *EMPLAZAMIENTO DE LAS CÁMARAS*



4. Ilustración. *EQUIPOS E INSTALACIÓN*



6. Ilustración. *TOMA DE DATOS DE LA INSTALACIÓN*



5. Ilustración. *COMPROBACIÓN Y AJUSTE DE LA INSTALACIÓN*

Los gases refrigerantes testados en este ensayo se han probado en media (-5 / 0° C) y baja temperatura (-25/-20 ° C) y han sido los siguientes:

1. Tabla. *GASES REFRIEGRANTES TESTADOS*

TEMPERATURA DE TRABAJO	REFRIGERANTE DE REFERENCIA	REFRIGERANTE A COMPARAR
MEDIA TEMPERATURA	R 404 A	R 407 F
		R 438 A
		R 442 A
		R 434 A
		R 422 D
MEDIA TEMPERATURA	R 134 A	R 450 A
		R 1234 YF
		R 1234 ZE
		R 513 A
BAJA TEMPERATURA	R 404 A	R 449 A
		R 448 A
		R 442 A
		R 453 A
		R 434 A
		R 452 A

En la siguiente tabla aparecen los datos correspondientes a los refrigerantes utilizados para el estudio.

En las tablas de datos que se adjuntan, se pueden observar los valores correspondientes a cargas de refrigerante, PCA, precios, impuestos de cada uno de los refrigerantes..., que nos permitirán seleccionar la opción más conveniente en cada una de las situaciones.

2. Tabla. *CARACTERÍSTICAS DE LOS GASES. PCA(GWP): AR3 VERSIÓN III DEL IPCC*

<i>GASES</i>	<i>CARACTERÍSTICAS</i>						
	ODP	PCA	Precio €/kg	Impuesto/kg	Deslizamiento (°C)	Cargas (Kgs)	TEWI (Kgs CO ₂)
R134A	0	1300	6,06	26	0	1,3	18857,961
R450A	0	547	16,11	10,94	0,79	1,73	19398,011
R1234ze	0	7	29,33	0	0	0,89	17880,629
R1234yf	0	4	155,56	0	0	1	17934,869
R422D	0	2623	13,79	52,46	4,5	1,3	26555,847
R434A (M T ^a)	0	3131	15,01	62,62	1,5	1,52	28378,535
R513A	0	572	24,8	11,44	0	1,005	17666,265
R404A (M T ^a)	0	3784	7,69	75,68	0,7	1,5	39212,729
R407F	0	1705	8,61	34,1	6,4	1,2	33581,666
R438A	0	2151	13,5	43,03	4	1,205	34811,964
R442A (M T ^a)	0	1793	9,94	35,86	4,6	1,2	35453,577
R404A (B T ^a)	0	3784	7,69	75,68	0,7	1,5	31572,9
R442A (B T ^a)	0	1793	9,94	35,86	4,6	1,2	27531,033
R448A	0	1300	17,24	26	6	1,25	24158,583
R449A	0	1307	16,25	26,15	6	1,02	22613,79
R434A (B T ^a)	0	3131	15,01	62,62	1,5	1,52	29304,84
R452A	0	2067	23,90	41,34	3	1,12	23434,583
R453A	0	1664	13,835	33,28	4,2	1,13	23598,714

4. METODOLOGÍA

La metodología del ensayo ha consistido en la comprobación del comportamiento de la instalación en idénticas condiciones de funcionamiento (misma carga térmica, variando los gases refrigerantes. La estimación del caudal másico del refrigerante circulante se ha calculado mediante el rendimiento volumétrico.

TOMA DE DATOS REALIZADOS

- T de evaporación (aspiración)
- T de condensador (descarga)
- T del líquido condensado
- T ambiente
- T interior cámara
- P de alta (descarga)
- P de baja (aspiración)
- Consumo del compresor

- Consumo energético
- Generar fuga y comprobación del deslizamiento
- Peso de gas real

EQUIPOS DE MEDIDA

- Sondas de T, P
- Registrador de datos: CLIMACHECK
- Contador de energía: CIRCUTOR MOD. AR 6
- Registrador de datos: AKM (Danfoss)

CONCLUSIONES

Detallar el comportamiento de los distintos refrigerantes determinando sus ventajas y desventajas.

- COP.
- Capacidad frigorífica.
- Tª de descarga.
- Análisis del deslizamiento.
- Variación en la regulación del sistema de expansión respecto al R-404ª y al R134A.
- Carga de gas usada (kg).
- Consumo eléctrico en kWh.
- Cálculo del TEWI.

5. PROCESO A SEGUIR

ETAPAS	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIÓN
Preparación de cámaras e instalación	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar la instalación inertizada • Pruebas de presión a 28 bar • Realizar el vacío hasta 760 mmHg 	
Carga de gas Proceso por realizar hasta estabilización	<ul style="list-style-type: none"> • Pesar el gas refrigerante • Cargar refrigerante en fase líquida por aspiración con manómetro • Arrancar/parar ambas cámaras desde vacío hasta que alcancen régimen 	Realizar la operación hasta alcanzar la estabilidad

	<ul style="list-style-type: none"> • Recarga de gas si es necesario • Cargar hasta visor lleno • Toma de datos en continuo 	A las 3 horas
Desescarche	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar desescarche por resistencia eléctrica 	Realizar el proceso cada 3-4 horas
Provocar fugas	<ul style="list-style-type: none"> • Mantener la instalación en régimen hasta realizar las fugas oportunas 	Mantener el proceso durante 1 día
	<ul style="list-style-type: none"> • Provocar fugas en tanto por ciento de peso (20%) 	Cada condición de fuga supone 3 horas
Recarga de gas	<ul style="list-style-type: none"> • Recargar con el mismo peso extraído 	Anotar los gramos de más recargados
	<ul style="list-style-type: none"> • Provocar de nuevo fuga del 20% • Rellenar por peso (20%). • Volver a recargar el gas y poner en marcha la instalación hasta alcanzar régimen (hasta T^a de evaporación). Posteriormente observar el rendimiento de la instalación • Realizar el mismo proceso hasta que deje de funcionar 	Dejar funcionando durante 30 minutos Dejar funcionando durante 3 horas
CONCLUSIONES	<ul style="list-style-type: none"> • Variación de gas refrigerante 	Despreciando las fugas
Reinicializar el proceso	<ul style="list-style-type: none"> • Inertizar la instalación soplando nitrógeno • Realizar el vacío • Ajuste de la cámara a condiciones de partida 	Para limpiar el circuito Posteriormente volver a rellenar con nuevo aceite

3. Tabla. *DESARROLLO DEL PROCESO*

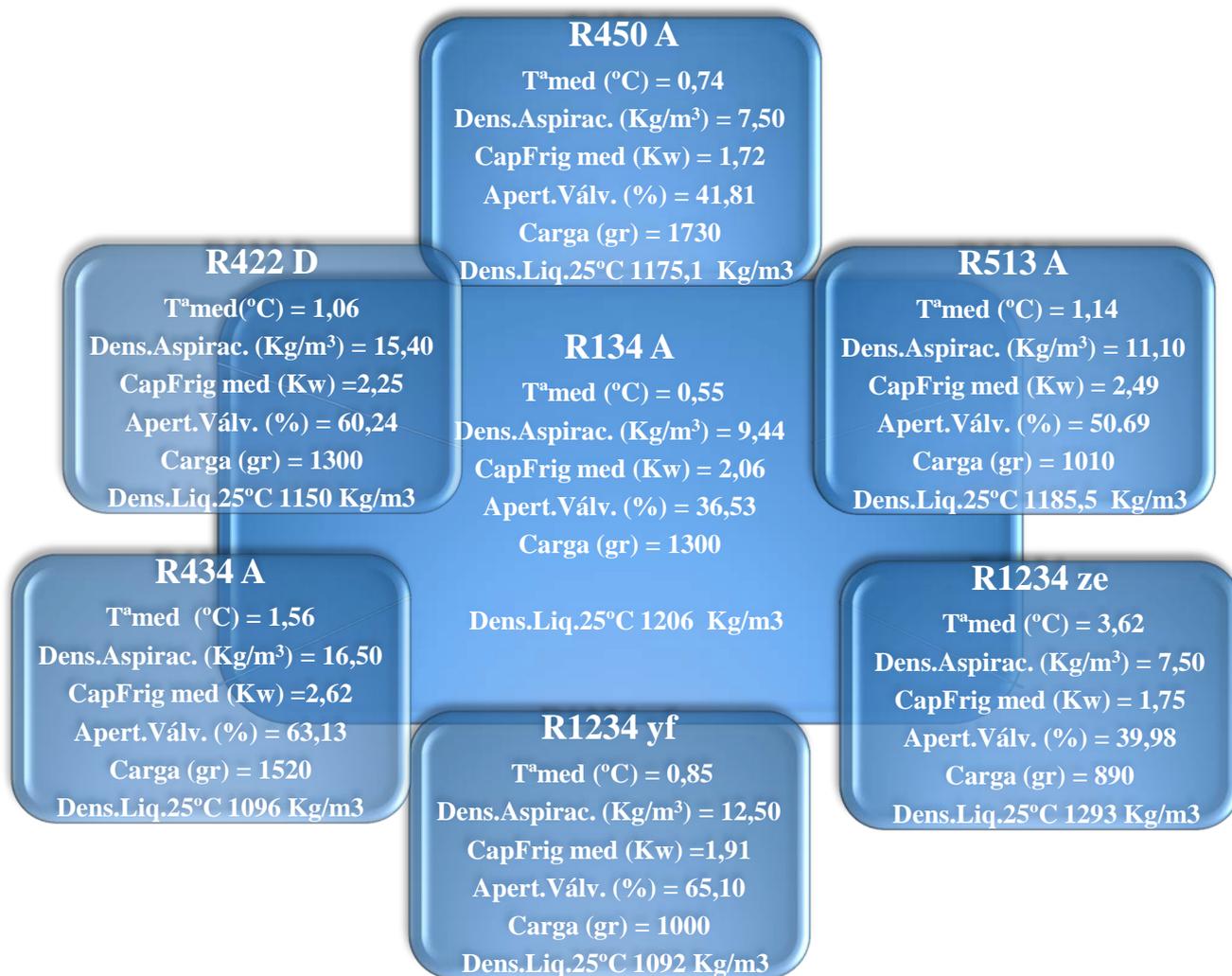
6. DESARROLLO Y RESULTADOS DEL ESTUDIO

1. DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS GASES TESTADOS EN LA CÁMARA 1 EN MEDIA TEMPERATURA

En las tablas de datos que se adjuntan, se pueden observar, entre otros, los valores correspondientes a Capacidades Frigoríficas, COP, T^a de descarga de cada uno de los refrigerantes, que ayudarán a seleccionar la opción más adecuada en cada una de las instalaciones.

Por otro lado, y en referencia a la parte del ensayo correspondiente al estudio de las posibles variaciones en las propiedades de los refrigerantes que sean mezclas, al ir realizando sucesivas fugas, no se han detectado cambios muy significativos en dichos comportamientos.

En el siguiente diagrama se indican las propiedades de los distintos gases refrigerantes comprobados en la cámara 1. Los gases fluorados que se han observado en dicha cámara han sido el R 134 A y sus sustitutos.



1. Ilustración. PROPIEDADES DE LOS REFRIGERANTES, CÁMARA 1

En la siguiente tabla se observan las características correspondientes a este primer grupo de refrigerantes en comparación al de referencia de este grupo que es el R134 A.

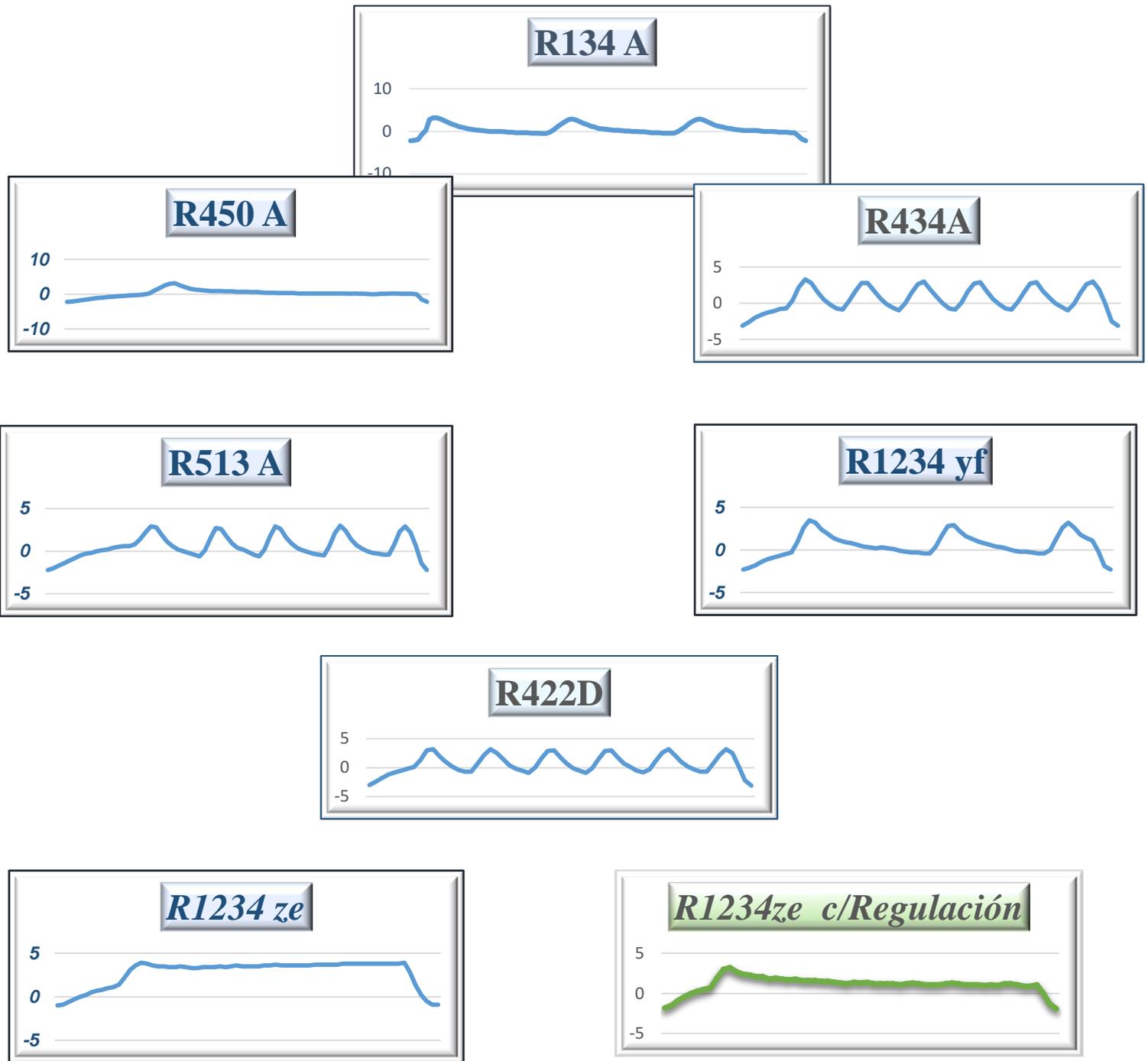
4. Tabla. **CARACTERÍSTICAS GASES REFRIGERANTES, CÁMARA 1**

COMPARATIVA		R134A	Media Temperatura			Carga Térmica 1000w	
MT	R134A	R450A	R1234ze	R1234yf	R513A	R422D	R434A
Tª Cam (°C)	0,55	0,74	3,62	0,85	1,14	0,92	1,56
LP (Bar)	0,84	0,71	0,53	1,06	1,11	1,96	2,05
TªEv (°C)	-12,05	-10,43	-8,87	-11,89	-11,33	-12,90	-13,99
TEC (°C)	4,73	4,75	7,32	3,54	4,77	1,80	1,43
Rec (°C)	16,78	14,96	16,19	15,44	16,05	13,56	14,04
HP (Bar)	8,32	7,79	6,89	8,03	8,51	13,55	13,75
Tª Cond (°C)	36,85	39,43	41,15	35,36	35,53	38,77	36,82
TªEntVE (°C)	35,20	37,61	38,04	34,25	32,93	34,14	31,82
Subenf (°C)	1,66	1,50	3,11	1,10	2,60	3,55	3,60
TSC (°C)	67,30	66,52	63,11	57,56	57,08	62,55	60,18
P. Elec	0,67	0,63	0,59	0,70	0,72	0,96	0,98
COP	2,44	1,94	2,01	2,39	2,45	2,11	1,98
Cap Frig (Kw)	1,63	1,22	1,19	1,67	1,77	2,03	1,94
R. Comp	5,07	5,14	5,16	4,38	4,51	4,92	4,84
V. Exp %	36,53	41,81	39,98	65,10	50,69	61,21	63,13
Dens. Asp. (Kg/m3)	9,44	7,50	7,50	12,50	11,10	14,00	14,50
Dens. Liq.a 25°C(Kg/m3)	1206,00	1175,10	1293,00	1092,00	1185,50	1190,00	1096,00
Carga Refr. (Kgs)	1,30	1,73	0,89	1,00	1,01	1,30	1,52

Valor de Referencia	Valor Inferior	Valor Superior
---------------------	----------------	----------------

En las siguientes gráficas se observan los comportamientos de un ciclo de funcionamiento de los gases refrigerantes probados en la cámara 1.

En la operativa tipo "Drop in" que se ha utilizado en este ensayo, observamos el orden, de mayor a menor, de los refrigerantes que superan con mayor facilidad la carga térmica del calefactor (1000 W) y además del resto de cargas (transmisión por paneles frigoríficos, desescarches, ventiladores de evaporador...).

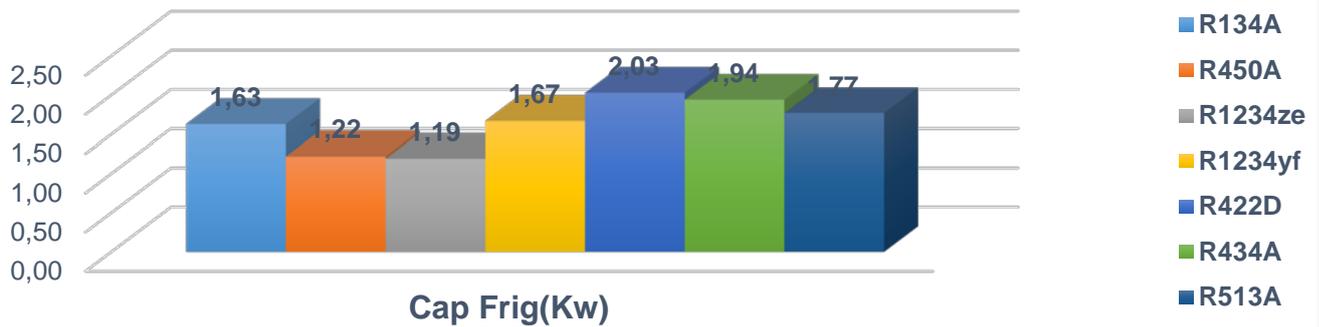


9. Ilustración. *COMPORTAMIENTO DE LOS GASES REFRIGERANTES, CÁMARA 1*

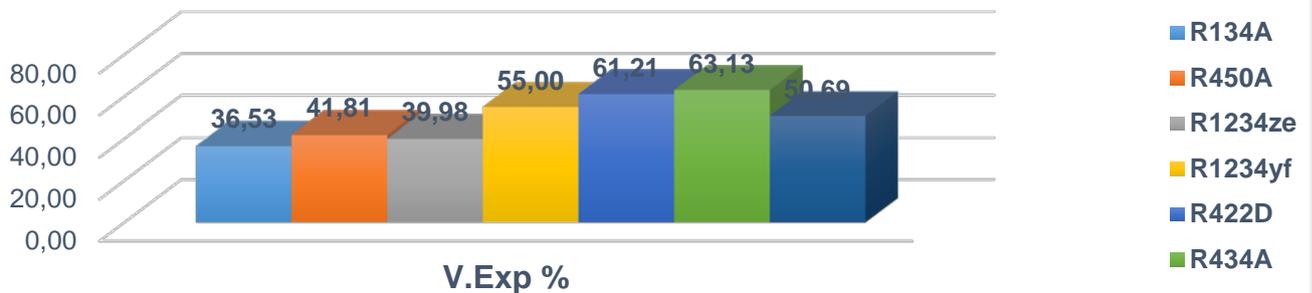
Los gráficos siguientes corresponden a los resultados obtenidos de las características de los gases refrigerantes testados en la cámara 1. Las condiciones de ensayo que se han establecido para estos gases han sido los siguientes:

**Condiciones del Ensayo : Carga térmica calefactor 1000w
Ciclo calefactor 50´(ON)-10´(OFF)
Tª Exterior 25-27°C**

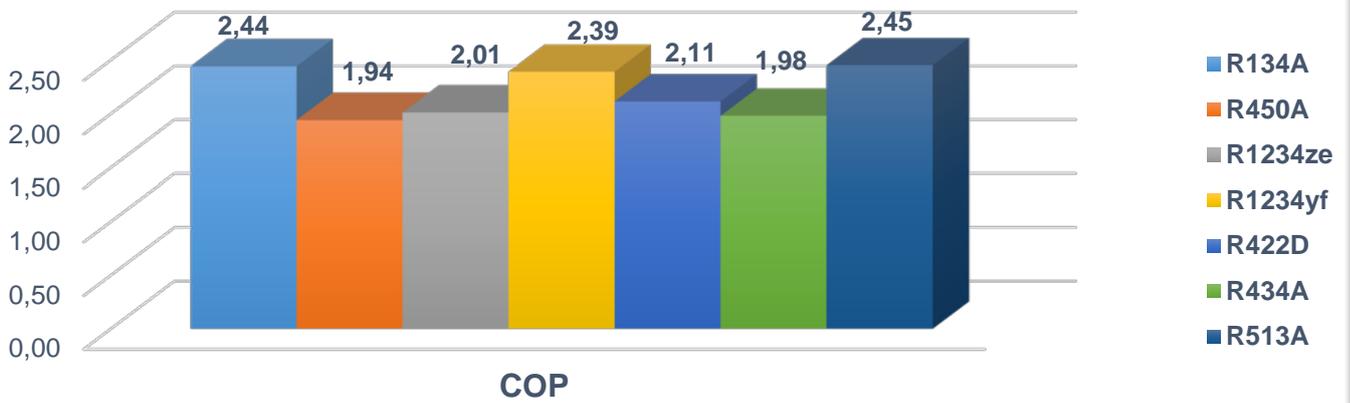
CAPACIDAD FRIGORÍFICA (KW) DEL R134 A Y SUS GASES SUSTITUTOS



APERTURA DE LA VALV. EXP. (%) PARA EL R 134 A Y SUS GASES SUSTITUTOS



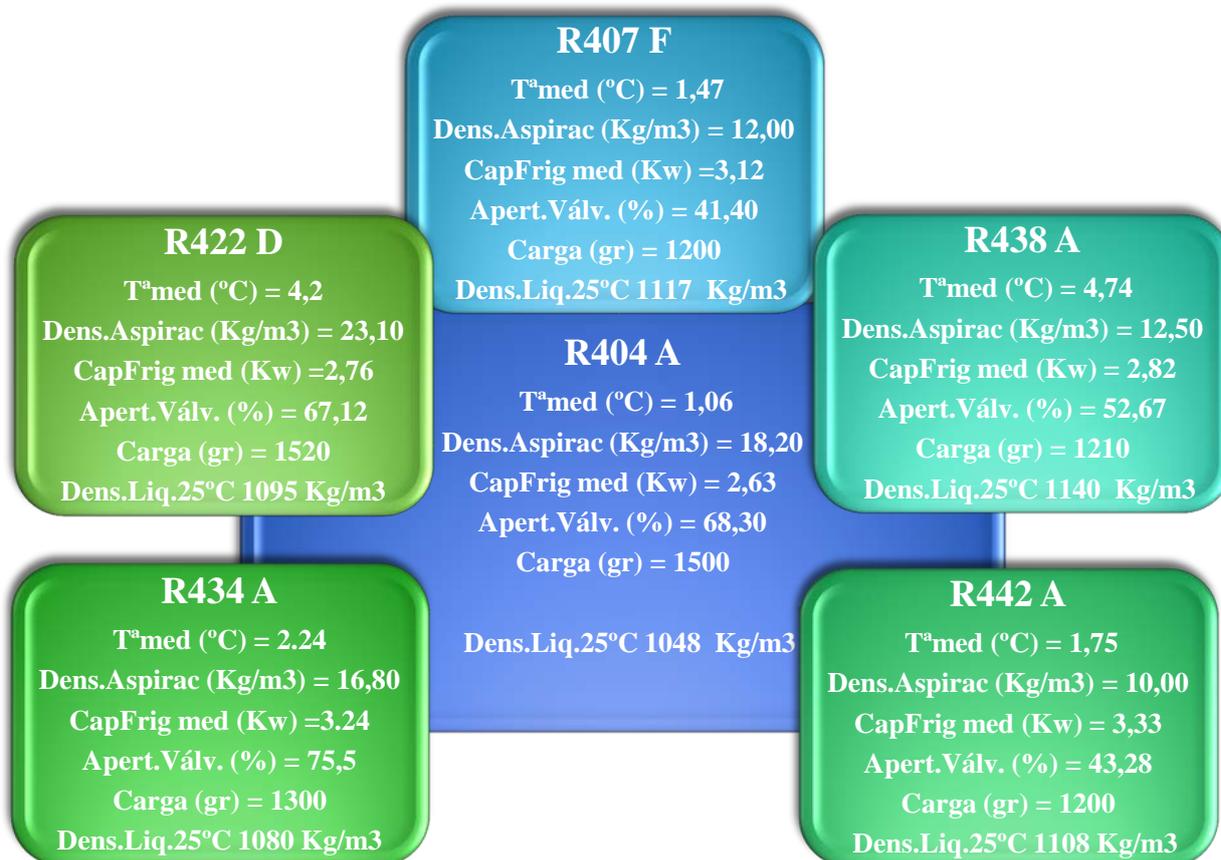
COP DEL R 134 A Y SUS GASES ALTERNATIVOS



10. Ilustración. CARACTERÍSTICAS DE LOS GASES REFRIGERANTES

2. DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS GASES TESTADOS EN LA CÁMARA 2 EN MEDIA TEMPERATURA

En el diagrama siguiente se indican las propiedades de los distintos gases refrigerantes comprobados en la cámara 2. Los gases fluorados que se han observado en dicha cámara han sido el R 404A y sus sustitutos.



11. Ilustración. PROPIEDADES DE LOS REFRIGERANTES, CÁMARA 2

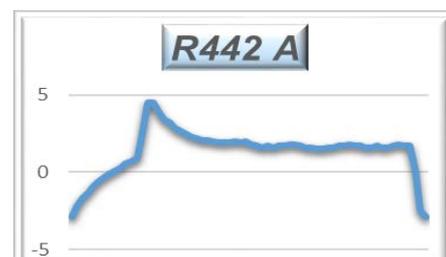
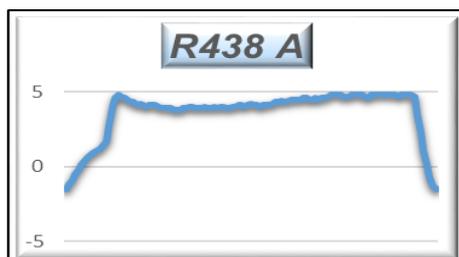
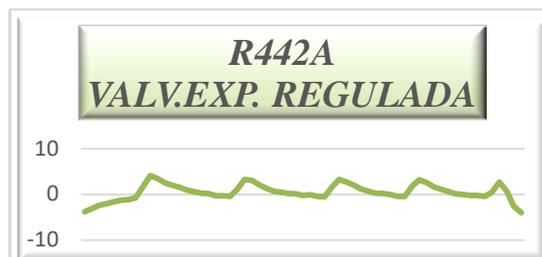
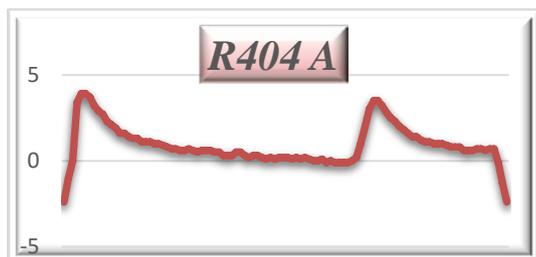
En la siguiente tabla se observan las características correspondientes a este segundo grupo de refrigerantes en comparación al de referencia o patrón de este grupo que es el R404 A.

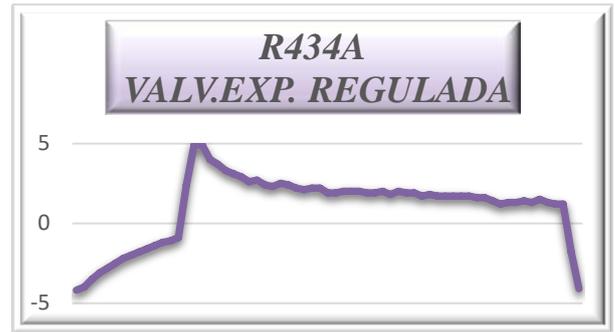
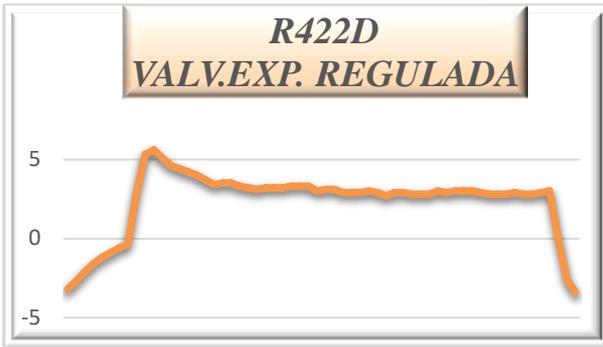
5. Tabla. CARACTERÍSTICAS GASES REFRIGERANTES, CÁMARA 2

M T	COMPARATIVA R 404A Media Temperatura				Carga Térmica 2000w	
	R404A	R407F	R438A	R442A	R422D	R434A
T ^a Cam (°C)	1,06	1,47	4,74	1,75	4,2	2,24
LP (Bar)	2,53	2,14	2,03	2,23	2,14	2,46
T ^a Ev (°C)	-15,73	-15,99	-12,54	-15,57	-14	-13
TEC (°C)	-1,13	3,19	5,75	3,55	2,08	-4,85

Rec (°C)	14,38	17,01	16,46	16,82	15,98	9,01
HP (Bar)	15,00	15,26	13,98	15,43	13,08	14,46
T ^a Cond (°C)	34,71	35,58	38,13	35,70	34,6	36,72
T ^a EntVE (°C)	33,76	33,10	36,07	32,80	32,6	33,81
Subenf (°C)	0,78	0,19	0,00	0,49	1,11	0,97
TSC (°C)	64,64	77,32	70,76	74,53	59,34	56,75
R Isoent	64,99	77,68	73,96	80,25	77,98	79,23
P. Elec	1,10	1,07	1,00	1,10	0,96	1,06
COP	2,93	2,76	1,92	2,32	2,59	1,97
Cap Frig (Kw)	3,22	2,95	1,92	2,55	2,49	2,09
R Comp	4,53	5,18	4,94	5,09	4,48	4,47
V.Exp %	68,30	41,40	52,67	43,28	67,12	75,5
Dens. Asp.(Kg/m ³)	18,20	12,00	12,50	10,00	23,1	16,8
Dens. Liq. a 25°C (Kg/m ³)	1048,00	1117,00	1140,00	1108,00	1095	1080
Carga Refr. (Kgs)	1,50	1,20	1,21	1,20	1,52	1,3
Valor de Referencia		Valor Inferior		Valor Superior		

En las siguientes gráficas se observan los comportamientos de un ciclo de funcionamiento (Carga térmica ON-OFF), de los gases refrigerantes probados en la cámara 2.

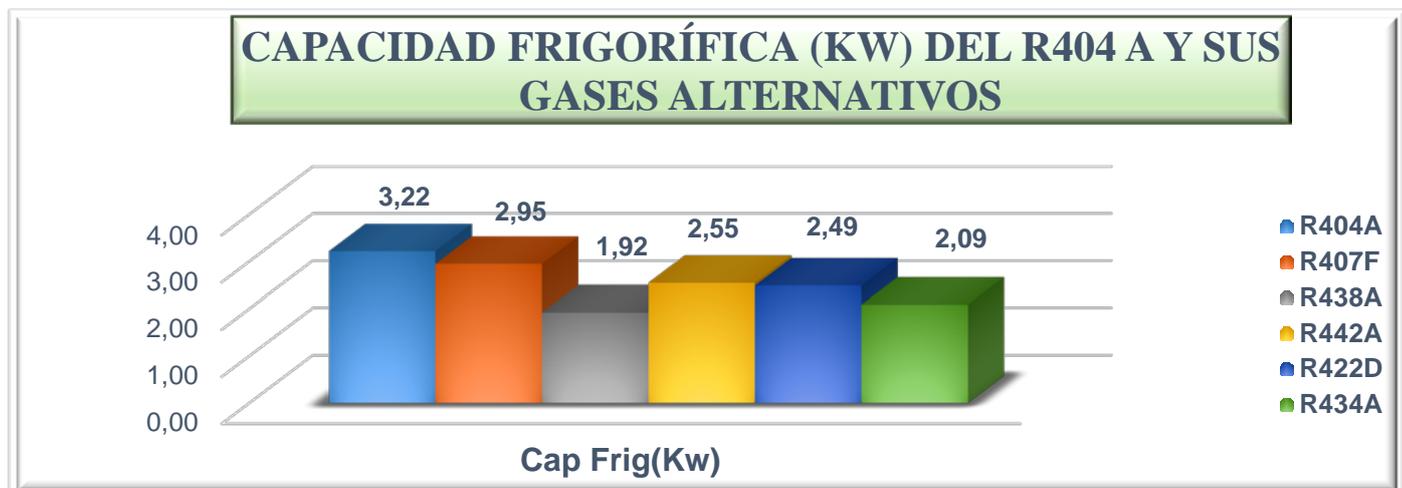
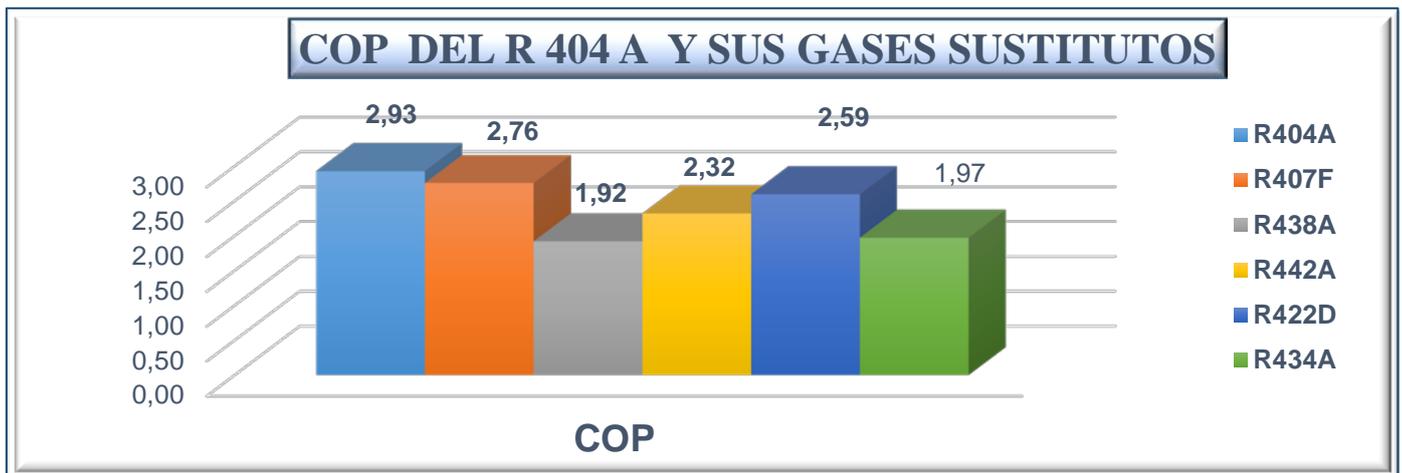




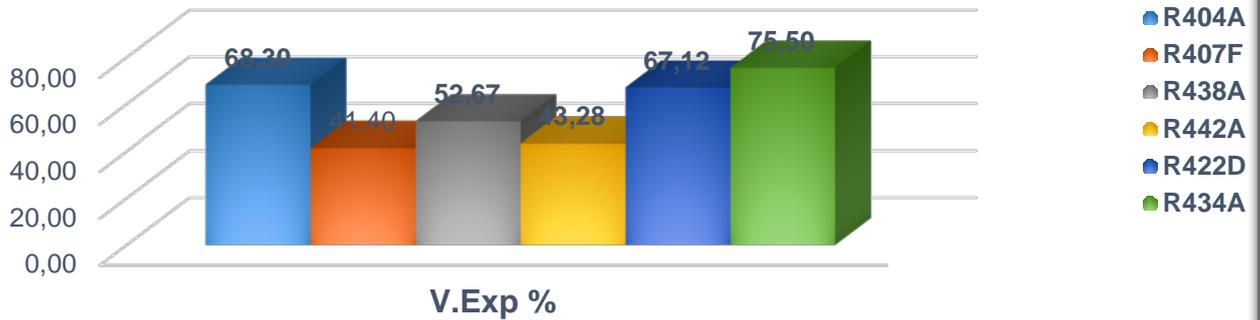
12 Ilustración. COMPORTAMIENTO DE LOS GASES REFRIGERANTES, CÁMARA 2

Los siguientes gráficos corresponden a los resultados obtenidos de las características de los gases refrigerantes testados en la cámara 2. Las condiciones de ensayo que se han establecido para estos gases han sido los siguientes:

Carga térmica calefactor 2000w
Condiciones del ensayo: Ciclo calefactor 50´(ON)-10´(OFF)
Tª Exterior 25-27°C

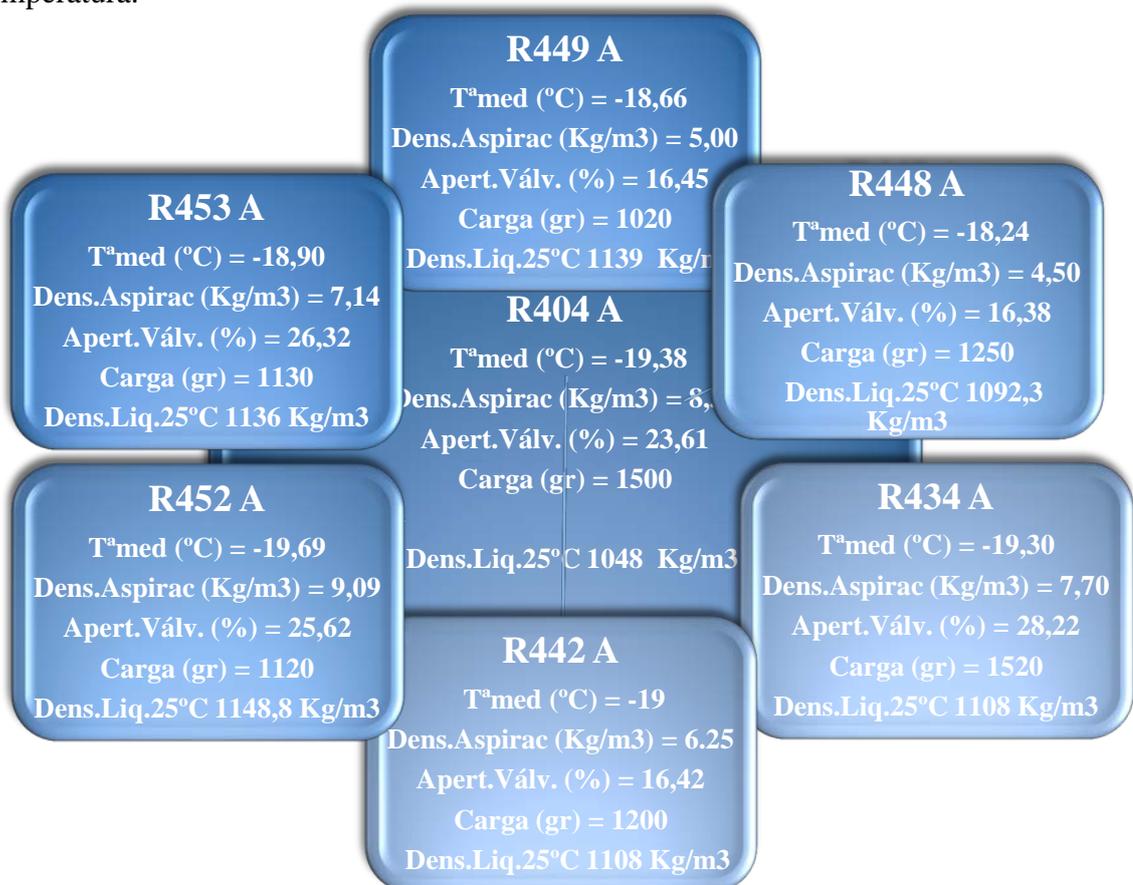


APERTURA DE VALV. (%) DEL R404 A Y SUS GASES ALTERNATIVOS



DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS GASES COMPROBADOS EN LAS CÁMARAS 1 Y 2 EN BAJA TEMPERATURA

En el diagrama siguiente se indican las propiedades de los distintos gases refrigerantes comprobados tanto en la cámara 1 como en la cámara 2 pero en este caso se han testado en baja temperatura. Los gases fluorados que se han observado han sido el R404 A y sus sustitutos para baja temperatura.



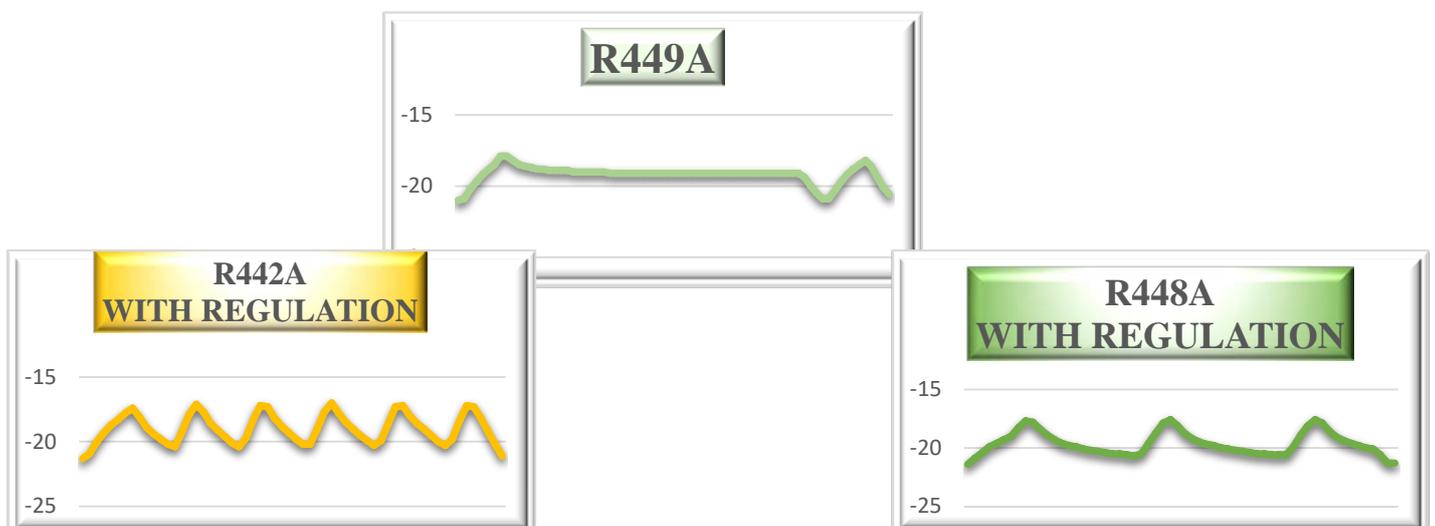
14. Ilustración. PROPIEDADES DE REFRIGERANTES EN BAJA TEMPERATURA

En la siguiente tabla se observan las características correspondientes al grupo de refrigerantes que trabaja n Baja Temperatura en comparación al de referencia o patrón de este grupo que es el R404A.

6. Tabla. CARACTERÍSTICAS GASES REFRIGERANTES, CÁMARA 1 Y CÁMARA 2, EN BAJA TEMPERATURA

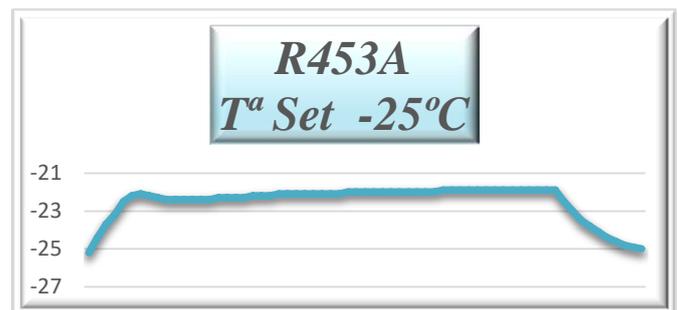
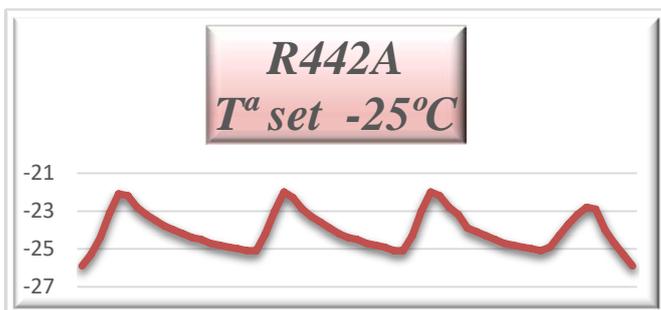
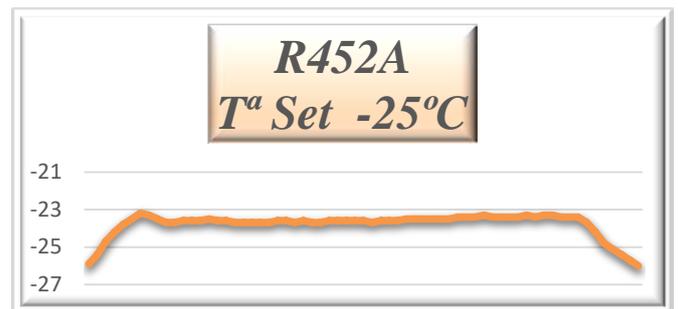
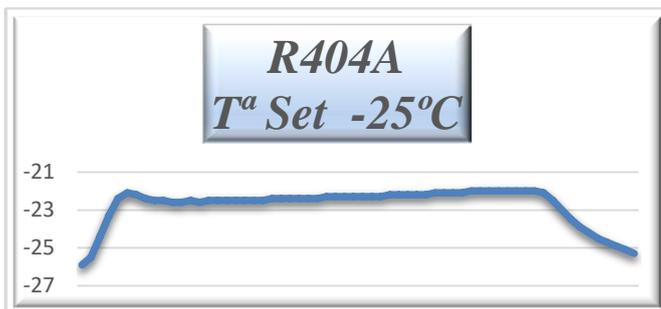
COMPARATIVA R404A Baja Temperatura Carga Térmica 500w							
B.T.	R404A	R434A	R442A	R448A	R449A	R452A	R453A
Tª Cam (°C)	-19,38	-19,30	-19,00	-18,24	-18,66	-19,69	-18,90
LP (Bar)	0,97	0,76	0,62	0,58	0,50	0,69	0,68
TªEv (°C)	-30,80	-30,97	-32,08	-31,91	-33,31	-33,20	-24,55
TEC (°C)	-4,40	-7,32	-5,52	-1,74	-2,24	-5,66	-20,21
Rec (°C)	26,15	22,79	24,26	28,51	29,47	28,03	2,05
HP (Bar)	13,97	12,67	13,80	13,94	12,37	12,49	11,24
TªCond (°C)	32,07	30,58	31,70	33,16	29,38	32,77	31,48
TªEntVE (°C)	29,84	28,86	28,78	27,31	25,02	26,67	28,03
Subenf (°C)	2,04	0,99	0,44	3,38	-0,27	-0,59	0,61
TSC (°C)	67,68	59,71	66,64	63,13	60,84	57,87	56,35
P. Elec	0,83	0,72	0,74	0,69	0,66	0,71	0,77
COP	1,46	1,33	1,38	1,41	1,44	1,39	1,60
Cap Frig (Kw)	1,21	0,96	1,02	0,97	0,95	0,99	1,23
R. Comp	7,60	7,77	9,14	9,46	8,91	7,98	7,29
V.Exp %	23,61	28,22	16,42	16,38	16,45	25,62	26,32
Dens. Asp. (Kg/m3)	10,00	8,80	6,25	7,00	6,60	9,09	7,30
Dens. Liq.a 25°C (Kg/m3)	1048,00	1108,00	1096,00	1092,30	1139,00	1148,80	1136,00
Carga Refr. (Kgs)	1,50	1,52	1,20	1,25	1,02	1,12	1,13
Valor de Referencia		Valor Inferior		Valor Superior			

En las siguientes gráficas se observan los comportamientos de un ciclo de funcionamiento (Carga térmica calefactor ON-OFF) de los gases refrigerantes probados en ambas cámaras en baja temperatura ($T^a \approx -20^\circ\text{C}$).





En las siguientes gráficas se observan los comportamientos a lo largo de un ciclo de los gases que se han probado a una T^a de -25°C con ajuste de orificio y regulación en la válvula de expansión.

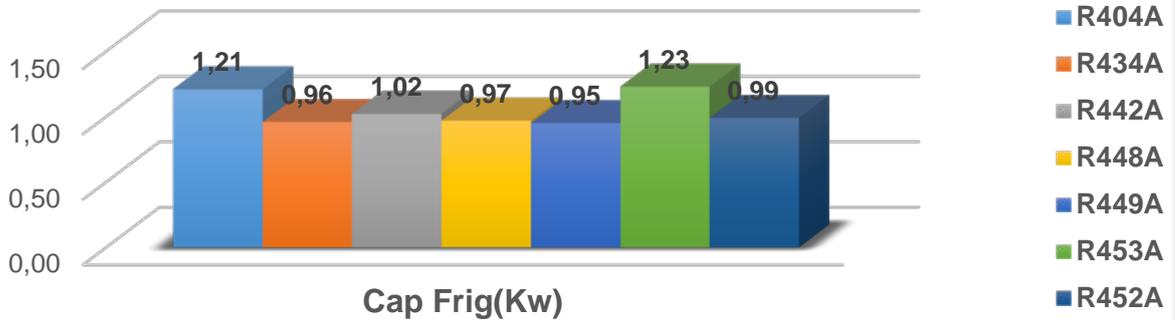


15. Ilustración. *COMPORTAMIENTO DE LOS REFRIGERANTES EN BAJA TEMPERATURA*

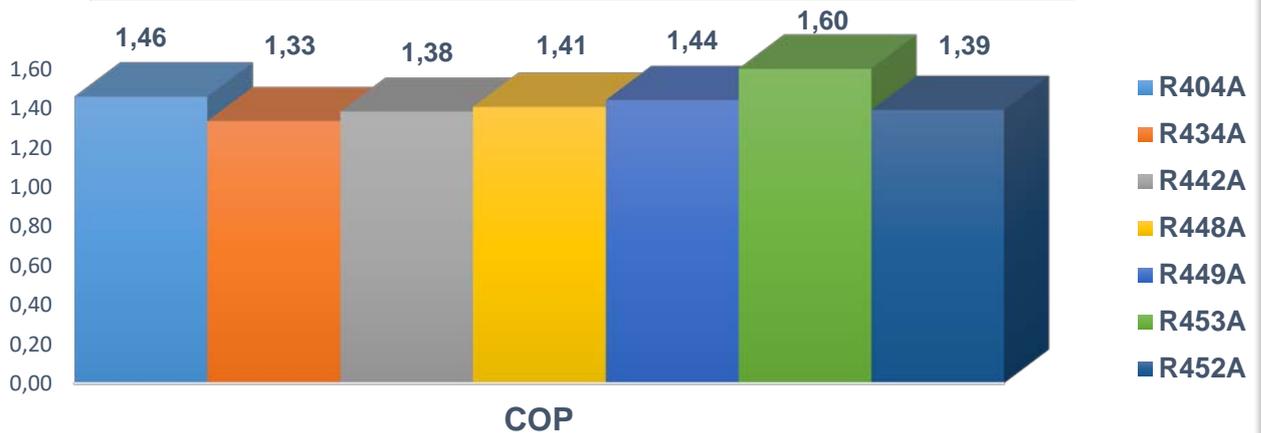
Los siguientes gráficos corresponden a los resultados obtenidos de las características de los gases refrigerantes testados en las dos cámaras en condiciones de baja temperatura. Las condiciones de ensayo que se han establecido para estos gases han sido las siguientes:

Condiciones del ensayo: Carga térmica calefactor 500w
 Ciclo calefactor 50'(ON)-10'(OFF)
 T^a Exterior 25-27°C

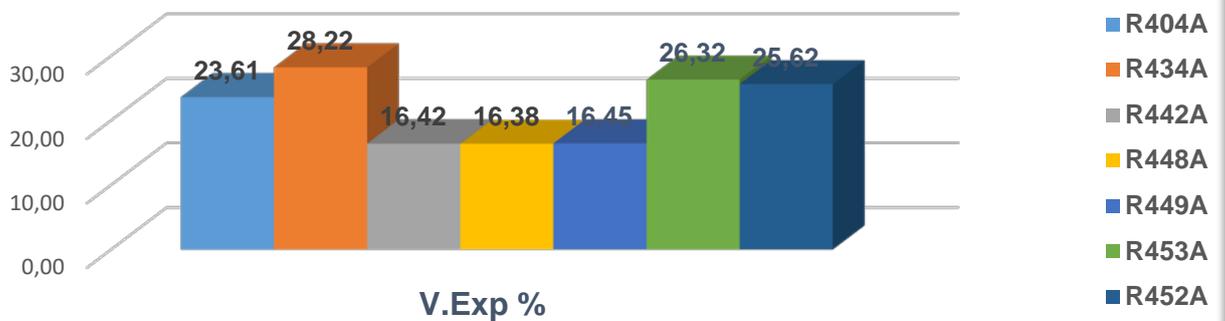
CAPACIDAD FRIGOÍFICA DEL R 404 A Y SUS GASES ALTERNATIVOS EN BAJA TEMPERATURA



COP DEL R404 A Y SUS GASES SUSTITUTOS EN BAJA TEMPERATURA



APERTURA DE VALV. (%) DEL R404A Y SUS GASES SUSTITUTOS



16. Ilustración. CARACTERÍSTICAS DE LOS REFRIGERANTES EN BAJA TEMPERATURA

7. CONCLUSIONES

7.1 CONCLUSIONES GENERALES

Con el fin de facilitar a Instaladores y Mantenedores, así como Proyectistas y Distribuidores de gases una herramienta eficiente para poder elegir el refrigerante más adecuado a sus necesidades, ante la gran cantidad de nuevos gases que han aparecido en el mercado. Después de llevar a cabo el estudio, y valorar los resultados obtenidos sobre los gases refrigerantes sustitutos, se pueden afirmar las siguientes conclusiones:

- ▶▶ Los gráficos de ciclo se han realizado para todos los gases de cada grupo, variando solamente la programación de los parámetros de cada gas, sin variar toberas ni recalentamientos. En los casos en los que se han realizado ajustes, se indica en el título del mismo.
- ▶▶ Las tablas que se adjuntan, en las que se indican los valores alcanzados por cada refrigerante ensayado, nos aportan una información útil para hacer una estimación previa y aproximada del rendimiento de la instalación. En concreto relacionando el caudal de refrigerante, producción frigorífica específica y/o apertura de válvula.
- ▶▶ Como complemento en la ayuda al instalador, a la hora de elegir entre un refrigerante u otro, además de la información de los diferentes rendimientos frigoríficos, se adjunta la referente a los precios e impuestos de cada uno de ellos, con el fin de aportar otro tipo de criterios, en este caso, económicos y medioambientales.
- ▶▶ Las sucesivas fugas y recargas de refrigerante no han supuesto cambios relevantes de funcionamiento en los diferentes ensayos realizados.
- ▶▶ En relación con la configuración del sistema de expansión, se ha probado a programar los parámetros de otros refrigerantes (R22, R407A) en algunos de los ensayos con el fin de comprobar si se producían mejoras o funcionamientos más estables, no produciéndose esta mejora en ninguno de los casos.

7.2 CONCLUSIONES POR TEMPERATURA DE TRABAJO

Media Temperatura: Por lo general no se han precisado ajustes especiales del sistema de expansión una vez configurado el control electrónico para cada tipo de refrigerante.

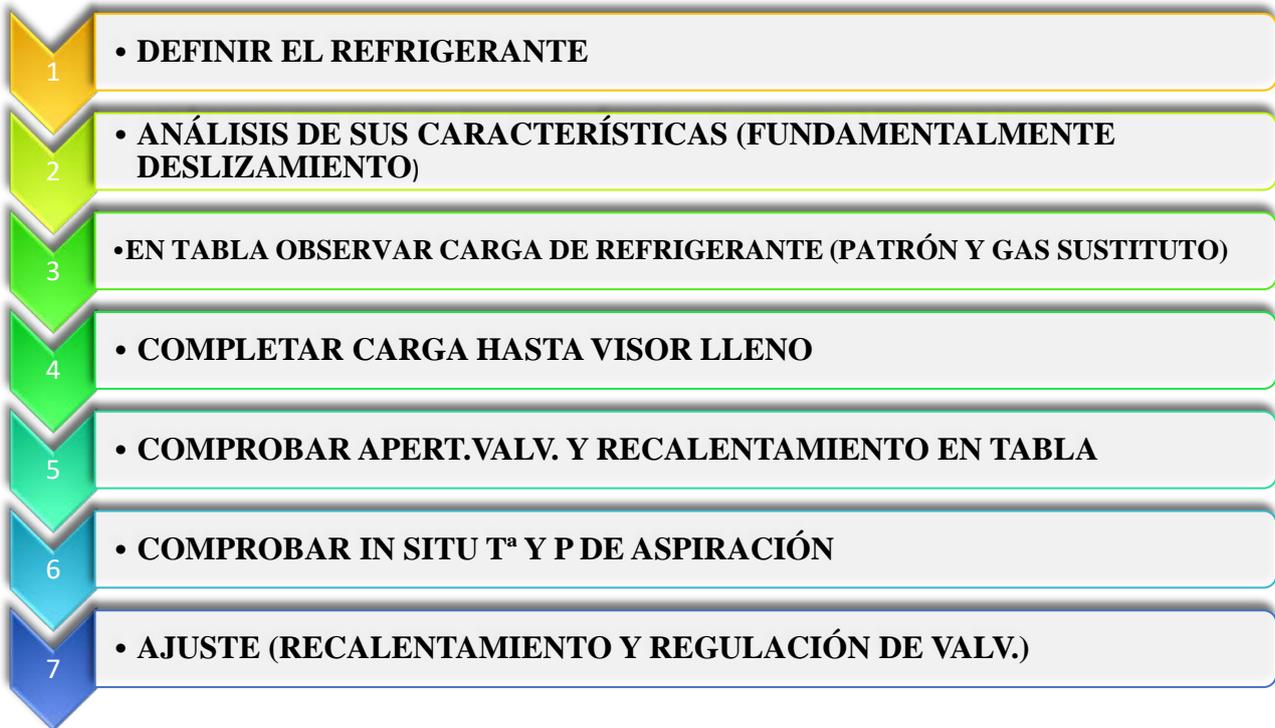
Baja Temperatura: En este caso, en todos los gases sustitutos sí se precisa un ajuste específico del sistema de expansión en lo referente a tamaño de toberas y valores de recalentamiento, en relación a la configuración del refrigerante de referencia. Para realizar cualquier retrofit por lo menos hay que realizar ajustes en los elementos (válvula de expansión...) y en los casos más adversos habrá que cambiar alguno de los elementos de la instalación. En Baja Temperatura no todos los gases comprobados llegan a alcanzar -25°C en las condiciones establecidas.

- ▶▶ Así mismo, se han producido situaciones con recalentamientos muy bajos. En concreto con el R453A el recalentamiento era muy bajo, incluso con riesgo de entrada de líquido en la aspiración del compresor. Por tanto, se actuó sobre el tamaño del orificio (menor) y el recalentamiento (mayor), eliminándose la problemática descrita antes y consiguiendo un funcionamiento correcto en la instalación, dándose la situación contraria en el R452 A.
- ▶▶ Otra prueba realizada, ha consistido en el cambio de las llamadas Ctes. de Antoine, que son diferentes y únicas para cada gas y con ellas se puede adaptar el funcionamiento del control electrónico de válvula de expansión a las características específicas de cada refrigerante.

8. FASES POR SEGUIR EN LA EJECUCIÓN DE UN RETRO-FIT

Si se considera una instalación frigorífica en funcionamiento en el cual hubiera que cambiar el gas refrigerante las pautas, paso a paso, a seguir son las que aparecen en el diagrama de abajo:

7. Tabla. *FASES PARA UN RETROFIT DE UNA INSTALACIÓN EN FUNCIONAMIENTO*



9. BIBLIOGRAFIA

- 1.- CoolPack Software
- 2.- www.bitzer.de/websoftware/
- 3.- www.chemours.com
- 4.- www.gasrevei.com
- 5.- www.honeywell-refrigerants.com
- 6.- www.refsols.com
- 7.- P.J. RANPIN y P. JACUARD (1997).: “Instalaciones frigoríficas”. Marcombo. Barcelona.
- 8.- JEAN GEORGES CONAN (1990).: “Refrigeración industrial”. Paraninfo. Madrid.
- 9.- AUGUSTO SILVA SOTELO (1969).: “Curso de termodinámica aplicada”. Subsecretaría de la Marina Mercante

