

RS-70: nuevo refrigerante sustituto del R-22 con bajo PCG (GWP).

Comparación de rendimiento con 6 refrigerantes ya existentes

ESTUDIO REALIZADO POR

DIRA S.L. (Desenvolupament, Investigació i Recerca Aplicada S.L.)

Resumen

Los resultados de rendimiento del refrigerante RS-70, probado en un calorímetro diseñado para emular las condiciones de refrigeración, demuestran que dicho refrigerante tiene una buena eficiencia energética, proporcionando elevadas potencias frigoríficas con un consumo eléctrico reducido, pudiéndose utilizar convenientemente, por lo tanto, como un sustituto adecuado para el R-22.

Índice

1. Objetivo
2. Refrigerantes
3. Circuito del calorímetro
 - 3.1. Instrumentos de medición
4. Métodos
 - 4.1. Introducción
 - 4.2. Pruebas dinámicas
 - 4.3. Ensayos en estado estacionario
 - 4.4. Recalentamiento de aspiración
5. Resultados y conclusiones
 - 5.1. Potencia frigorífica, potencia absorbida y COP
 - 5.2. Presión de aspiración, presión de descarga y ratio de compresión
 - 5.3. Temperatura de descarga



1. Objetivo

GRIT S.L. (Gases: Research, Innovation & Technology S.L), con sede en Barcelona, solicitó a DIRA S.L. (Desenvolupament, Investigació i Recerca Aplicada S.L.) que probase y comparase el rendimiento de siete refrigerantes en lo relativo a la eficiencia energética, así como otras propiedades que pueden servir para tener un conocimiento más profundo de su comportamiento.

Estas pruebas se realizaron en DIRA S.L (Carretera del mig 92, L'Hospitalet de Llobregat), por medio de un calorímetro adecuado a tal efecto.

En concreto, se realizaron dos tipos de ensayos:

- Pruebas dinámicas
- Pruebas en estado estacionario

2. Refrigerantes

GRIT S.L. suministró a DIRA S.L. siete refrigerantes, seis de los cuales estaban identificados únicamente como muestras numeradas, de modo que los encargados de realizar las pruebas desconocían su identidad. De esta manera, el conjunto de ensayos estuvo compuesto por pruebas ciegas. Únicamente se identificó la muestra R-22 para poner en servicio el calorímetro, obtener una referencia para la determinación de la temperatura de evaporación de los diferentes refrigerantes y calibrar los sensores instalados para la monitorización del sistema. Las muestras fueron suministradas en cilindros de gas convencionales de entre 4 y 7 litros.

A continuación se indican las designaciones de los distintos refrigerantes.

Muestra 1: RS-70
Muestra 2: R-22
Muestra 3: MO-99 (R-438A)
Muestra 4: MO-29 (R-422D)
Muestra 5: MO-59 (R-417A)
Muestra 6: RS-44 (R-424A)
Muestra 7: RS-45 (R-434A)

Estos códigos también se utilizan en los gráficos y las tablas que figuran más adelante.

3. Circuito del calorímetro

El circuito del calorímetro utilizado en las pruebas fue diseñado específicamente para estimar las características de funcionamiento de nuevos refrigerantes.

Compresor

Modelo 1,5 HP K7.2X de GELPHA
Equipo diseñado para R-404A y R-507
Con capacidad para funcionar en una amplia gama de temperaturas

Condensador

Refrigerado por aire
Modelo Tipo HRT/4-400-5PN

Dispositivo de expansión

Válvula Danfoss TES2 diseñada para R404A o R507 con equilibrio externo; a continuación se montó un distribuidor de tres salidas a capilares.

Evaporador y carga de inercia térmica.

La carga consistió en una mezcla de 25 litros de propilenglicol y 25 litros de agua, contenida en un cilindro de 50 litros. Dicha carga ha sido agitada magnéticamente con el fin de conseguir una buena transferencia térmica y un rápido equilibrio térmico en su interior.

Por su parte, el evaporador está formado por tres serpentines de cobre de 15 m de longitud cada uno, enrollados alrededor del recipiente de la carga térmica y contenidos en un cilindro externo.

El estrecho espacio libre existente entre los cilindros interno y externo se rellenó con una mezcla de etilenglicol y agua. Se introdujeron 5 litros de cada elemento para lograr una buena transmisión de calor entre la carga térmica y los serpentines del evaporador.

3.1. Instrumentos de medición

Todas las pruebas se realizaron con el mismo circuito de refrigeración, en las mismas condiciones y con el mismo equipo de seguimiento. Las presiones se midieron con un registrador Testo 570-2, mientras que las temperaturas fueron almacenadas por medio de tres registradores equipados con cuatro sondas de temperatura cada uno: Testo 177-T4 (1 unidad) y Testo 176-T4 (2 unidades). A estos registradores de temperatura hay que añadir un Testo 925, con el que se midió la temperatura de la mezcla de agua y propilenglicol. Por último, el consumo de energía eléctrica se contabilizó a través de contadores eléctricos Landis Gyr.

Con todos estos equipos se consigue medir y registrar las siguientes variables:

- Presión de condensación y de evaporación.
- Temperatura al final del condensador.
- Temperatura a medio condensador.
- Temperatura de descarga compresor.
- Temperatura de salida líquido condensador.
- Temperatura de la superficie del cilindro externo en la parte superior.
- Temperatura de la superficie del cilindro externo en la parte media.
- Temperatura de la superficie del cilindro externo en la parte inferior.
- Temperatura de salida evaporador.
- Temperatura del líquido entrada válvula de expansión.
- Temperatura de la mezcla propilenglicol-agua.
- Consumo de energía eléctrica del compresor.

4. Métodos

4.1. Introducción

Para cubrir todo el rango de condiciones requerido fue necesario combinar pruebas dinámicas con pruebas en estado estacionario.

4.2. Pruebas dinámicas

Todos los refrigerantes han sido probados utilizando el método expuesto a continuación:

En primer lugar, la mezcla de agua y propilenglicol se calienta utilizando resistencias eléctricas hasta los +50 °C con el fin de proveer una fuente de calor al evaporador. Una vez alcanzada dicha temperatura, se arrancaba el compresor para hacer funcionar el circuito frigorífico. Calentando la mezcla térmica a +50 °C se asegura que la temperatura del evaporador empiece, como mínimo, a +7 °C, la máxima temperatura de evaporador requerida.

La temperatura de condensación se mantiene constante durante todo el proceso, a +45 °C. Esta temperatura se obtuvo controlando el flujo de aire al condensador. La prueba finaliza cuando la mezcla de agua y propilenglicol llega a +32 °C o cuando alcanza condiciones de estabilidad.

Los datos recogidos fueron registrados y analizados a través del software Excel, calculando los siguientes parámetros clave para caracterizar el rendimiento del sistema:

- La potencia eléctrica del compresor (Pot. Abs.) se obtuvo por la medición del watímetro.
- La potencia frigorífica del refrigerante (Pot. Frig.) se obtuvo mediante la suma de la potencia de la carga térmica y la aportación del entorno.



Así pues, la potencia frigorífica se obtiene de la siguiente manera:

$$Pot\ Frig = \frac{V_{prop} * \rho_{prop} * c_{p_{prop}} * \Delta T_{prop} + V_{etil} * \rho_{etil} * c_{p_{etil}} * \Delta T_{etil}}{t} + Aportaciones$$

El COP del sistema se obtuvo a partir del cociente entre Pot Frig y Pot Abs.

$$COP = \frac{Pot\ Frig}{Pot\ Abs}$$

4.3. Ensayo en estado estacionario

Todos los refrigerantes han sido también probados en condiciones de estado estacionario para lograr bajas temperaturas de evaporación, calentando la mezcla de agua y propilenglicol con cargas térmicas de 2.000 W, 1.500 W, 1.000 W, 500 W y 0 W, manteniéndose en todo momento el condensador a +45 °C.

La ganancia térmica de la carga obtenida del entorno se calculó utilizando las siguientes expresiones:

$$Ganancia\ lateral = \frac{\lambda}{e} \cdot \Delta T \cdot (2\pi \cdot r^2)$$

$$Ganancia\ inferior = \frac{\lambda}{e} \cdot \Delta T \cdot (\pi \cdot r^2)$$

$$Ganancia\ superior = h \cdot \Delta T \cdot (\pi \cdot r^2)$$

$$Pot\ frig = \Sigma P. carga\ térmica + \Sigma P. ganancias\ termicas + Potencia\ agitador$$

4.4. Recalentamiento de aspiración

Dado que al realizar las pruebas se desconocía la identidad de los refrigerantes (salvo el R22), no se pudieron calcular los recalentamientos de aspiración utilizando tablas termodinámicas. Es por ello que se recurrió a varias sondas térmicas situadas alrededor del evaporador.

Se ha estimado la temperatura media de evaporación de cada refrigerante a partir de los datos obtenidos con el R22. Se puede obtener la temperatura final de evaporación sumando la mitad del glide a esta temperatura. A partir de esta temperatura, se ha buscado tener en todo momento alrededor de 5°C de recalentamiento a la salida del evaporador como promedio, ya que esta temperatura oscila debido a la válvula de expansión.



5. Resultados y conclusiones

5.1. Potencia frigorífica, potencia absorbida y COP

T evap [°C]	Potencia frigorífica [W]						
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7
7	7.361	7.653	7.301	6.497	5.506	6.071	7.320
2	5.659	6.032	5.607	4.962	4.241	4.656	5.591
-10	3.010	3.407	2.976	2.599	2.267	2.462	2.928
-25	1.368	1.668	1.348	1.158	1.036	1.110	1.304
-35	847	1.037	795	675	615	653	761

Tabla 1 - Potencia frigorífica en función de la temperatura de evaporación

T evap [°C]	Potencia absorbida [W]						
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7
7	1.711	1.729	1.735	1.626	1.337	1.448	1.665
2	1.584	1.601	1.593	1.506	1.238	1.341	1.542
-10	1.257	1.331	1.299	1.252	1.029	1.114	1.282
-25	953	1.056	1.007	993	817	885	1.017
-35	817	906	849	852	700	758	872

Tabla 2 - Potencia absorbida en función de la temperatura de evaporación

T evap [°C]	COP						
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7
7	4,30	4,43	4,21	4,00	4,12	4,19	4,40
2	3,57	3,77	3,52	3,30	3,43	3,47	3,63
-10	2,40	2,56	2,29	2,08	2,20	2,21	2,28
-25	1,44	1,58	1,34	1,17	1,27	1,25	1,28
-35	1,04	1,14	0,94	0,79	0,88	0,86	0,87

Tabla 3 - COP en función de la temperatura de evaporación

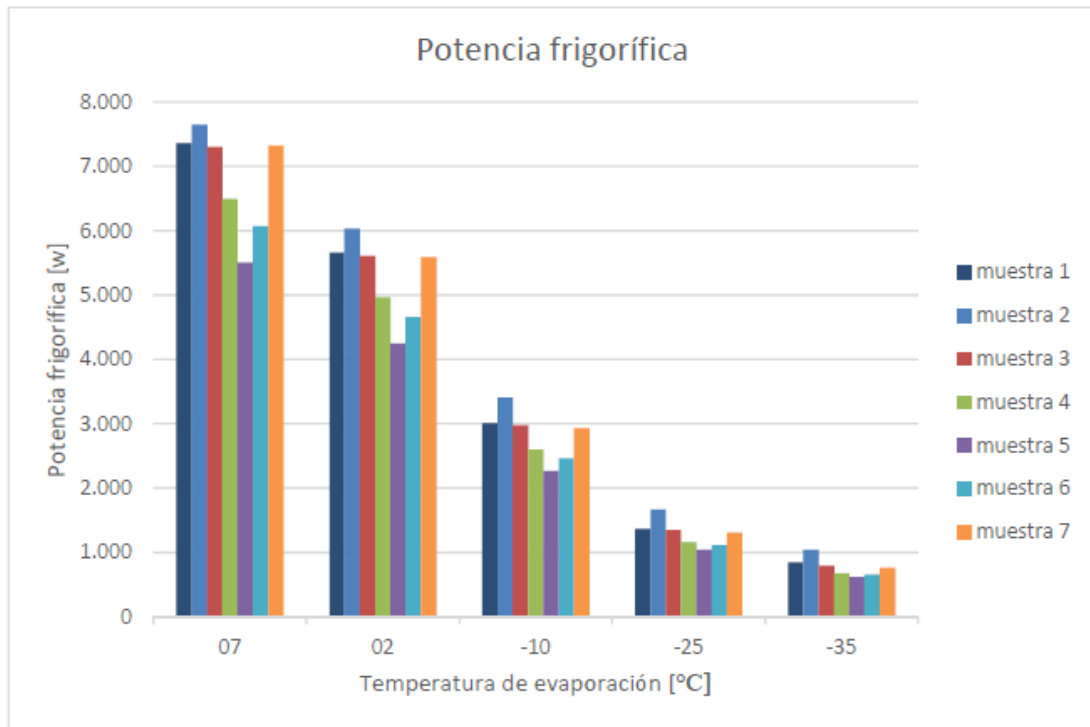


Figura 1 - Potencia frigorífica en función de la temperatura de evaporación

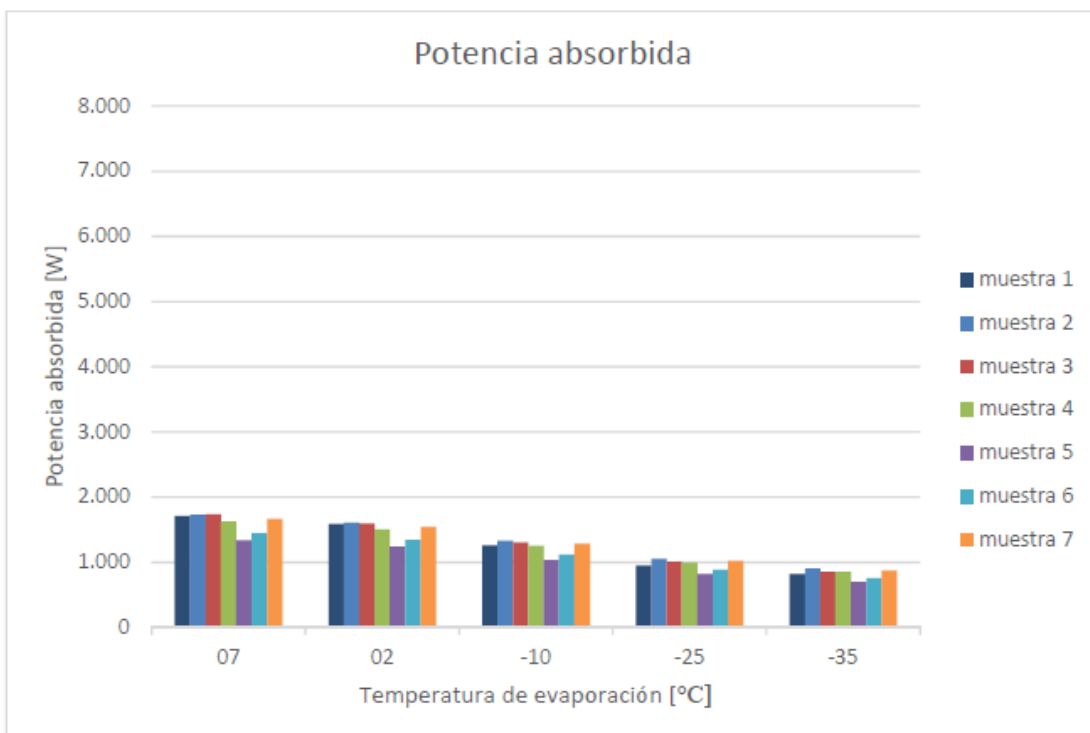


Figura 2 - Potencia absorbida en función de la temperatura de evaporación

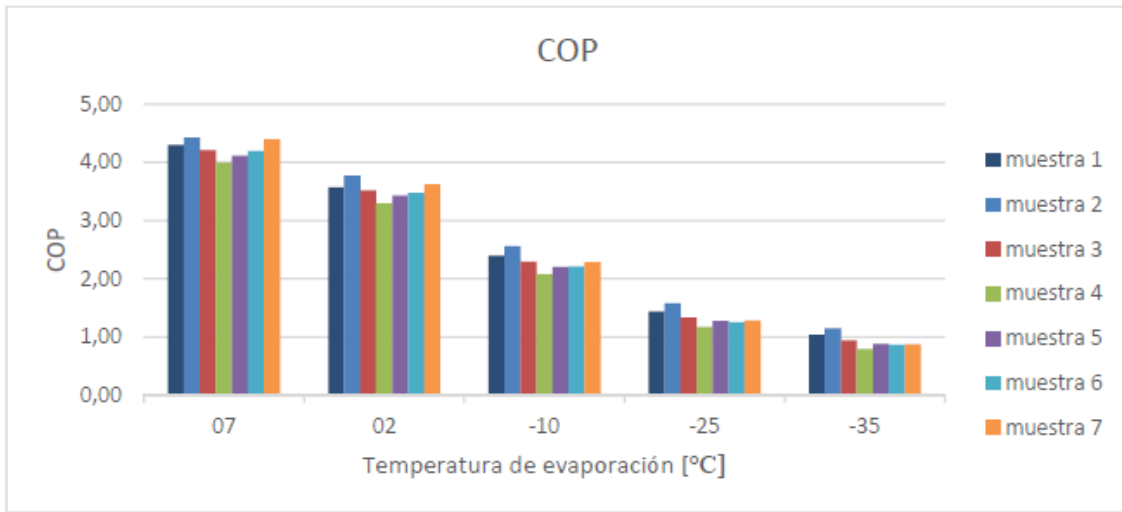


Figura 3 - COP en función de la temperatura de evaporación

Como puede observarse tanto en las tablas como en los gráficos anteriores, el COP del RS-70 (muestra 1) es del mismo orden de magnitud que el del R-22 (muestra 2), consiguiendo potencias frigoríficas elevadas con bajos consumos.

5.2. Presión de aspiración, presión de descarga y ratio de compresión

Las presiones que se muestran en las siguientes tablas son las obtenidas de la medición experimental. Estas presiones no coinciden con precisión con la presión que correspondería a las diferentes temperaturas de evaporación y condensación. Los valores de las potencias mostradas en el apartado anterior ya han sido corregidos teniendo lo expuesto en cuenta.

		Presión [bar]						
Temperatura [°C]		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7
Evaporación	7	5,47	5,61	5,49	6,18	4,94	5,17	6,39
	2	4,67	4,83	4,68	5,28	4,22	4,44	5,50
	-10	3,19	3,37	3,20	3,63	2,89	3,09	3,83
	-25	1,98	2,15	1,98	2,27	1,80	1,96	2,44
	-35	1,44	1,60	1,44	1,66	1,31	1,45	1,81
Condensación	45	18,32	17,47	18,37	20,30	16,42	16,34	20,06

Tabla 4 - Presiones de evaporación (aspiración) y condensación (descarga)

		Ratio de compresión						
T evap [°C]	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	
7	3,35	3,11	3,35	3,29	3,32	3,16	3,14	
2	3,93	3,62	3,93	3,84	3,89	3,68	3,65	
-10	5,75	5,18	5,75	5,59	5,69	5,29	5,24	
-25	9,26	8,11	9,26	8,94	9,13	8,34	8,22	
-35	12,73	10,94	12,73	12,23	12,53	11,29	11,11	

Tabla 5 - Ratio de compresión

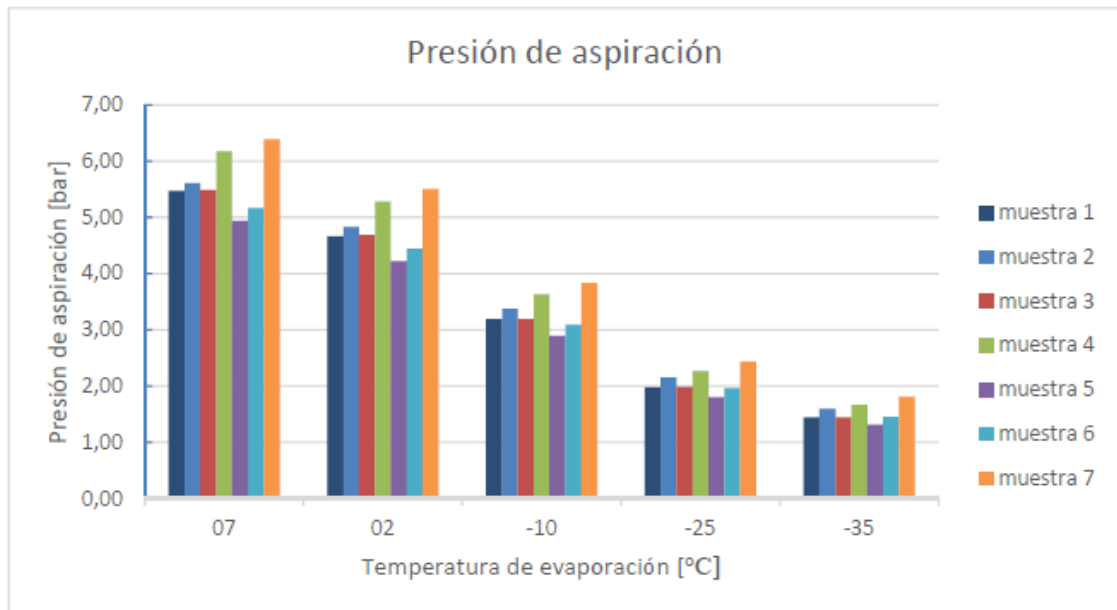


Figura 4 - Presión de aspiración en función de la temperatura de evaporación

En el grafico se puede observar cómo la presión de aspiración del RS-70 es un poco inferior a la del R-22 en todos los rangos de trabajo, siendo muy similar a la presión de aspiración de la muestra 3.

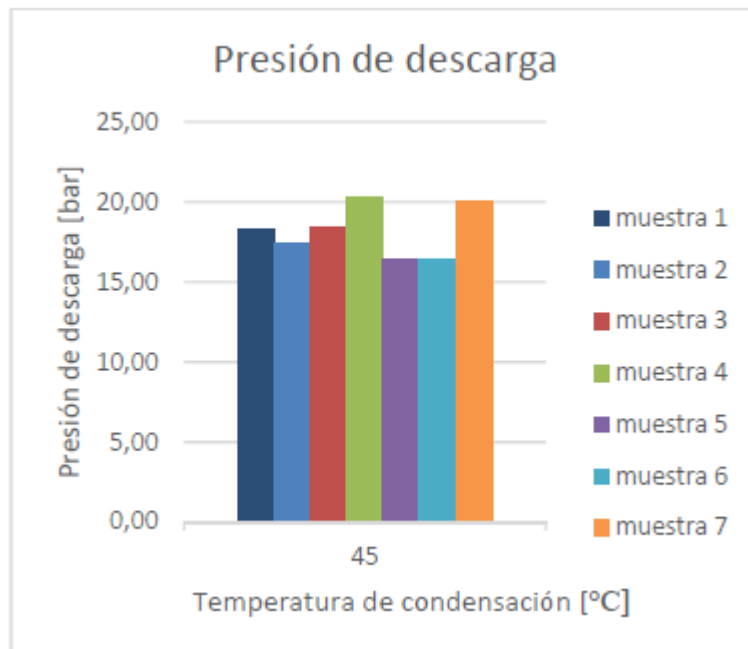


Figura 5 - Presión de descarga en función de la temperatura de condensación

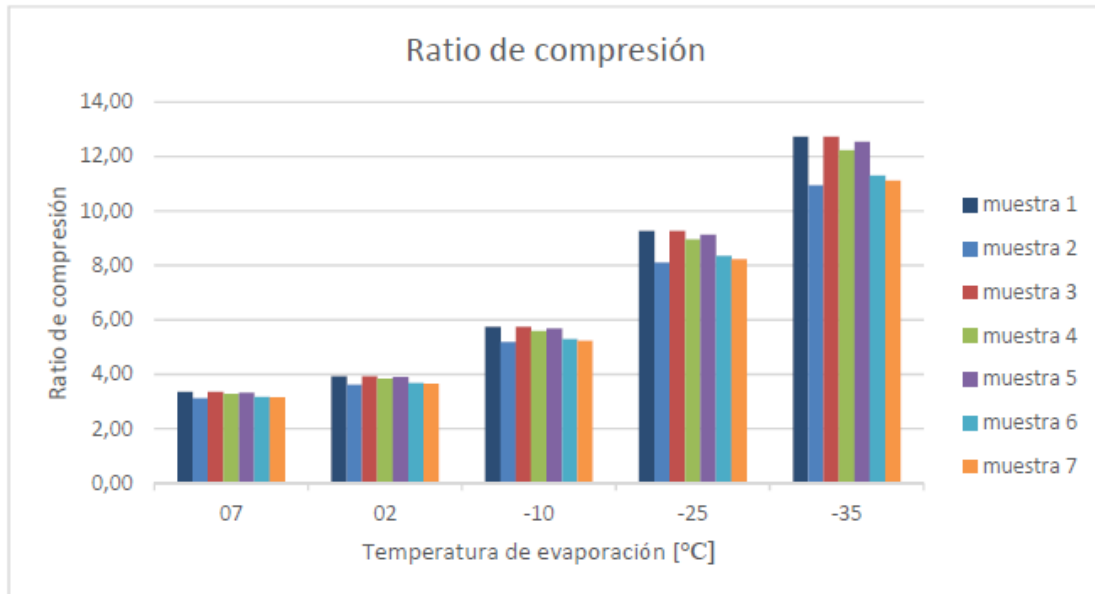


Figura 6 - Ratio de compresión en función de la temperatura de evaporación

5.3. Temperatura de descarga

T evap [°C]	Temperatura de descarga [°C]						
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7
7	59,1	76,5	64,8	65,8	64,8	58,2	64,8
2	65,4	83,4	65,0	66,9	66,9	60,4	64,9
-10	78,7	86,7	70,1	69,3	69,5	63,5	68,6
-25	91,5	95,7	78,8	75,3	78,8	71,5	77,7
-35	97,8	121,2	100,5	90,1	89,3	83,6	94,1

Tabla 6 - Temperaturas de descarga

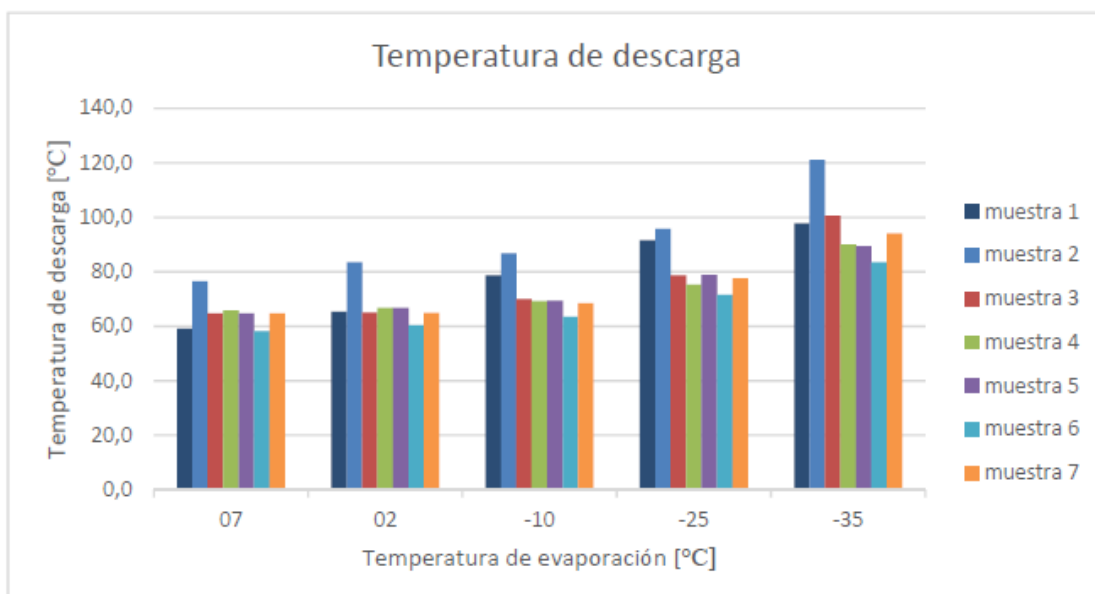


Figura 7 - Temperaturas de descarga en función de la temperatura de condensación