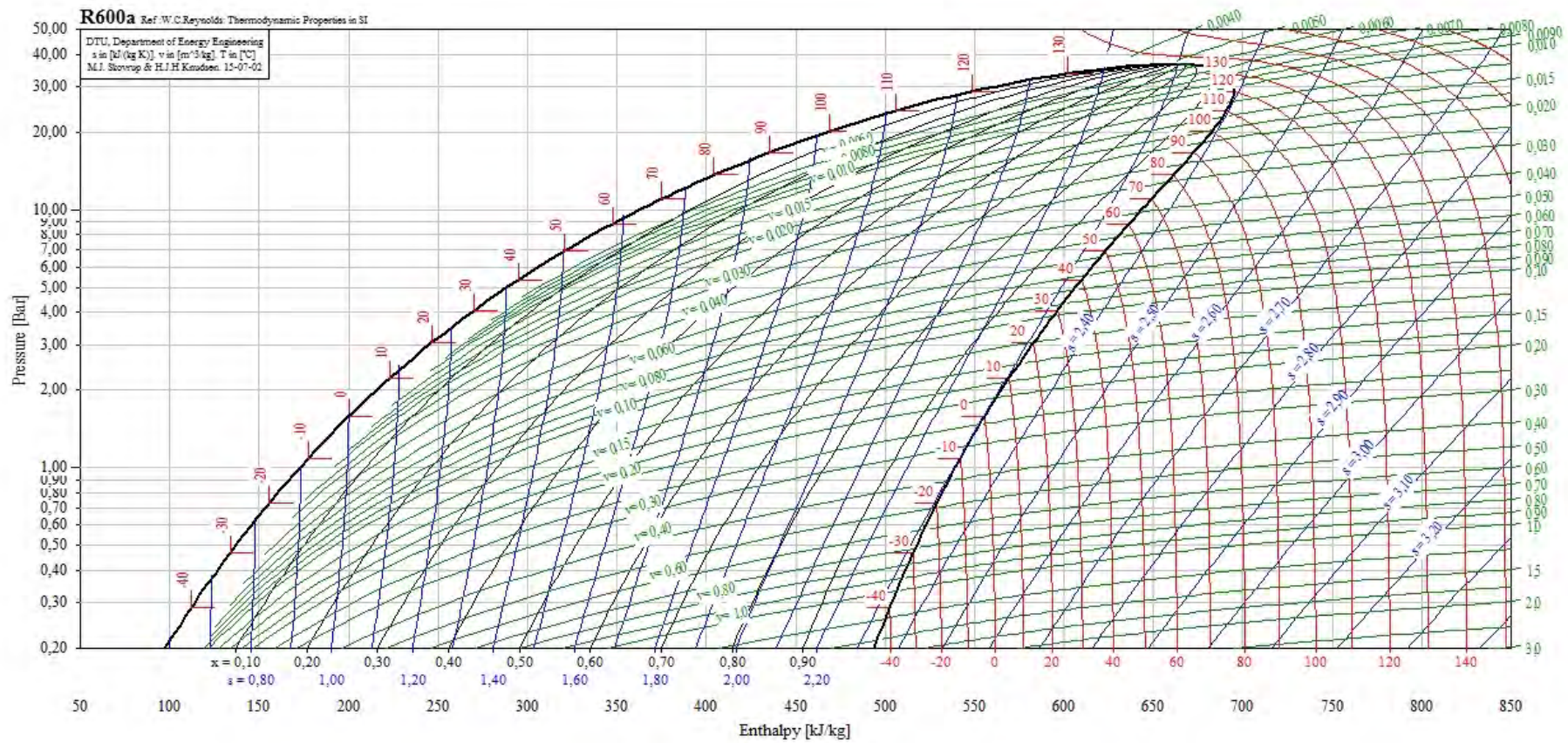
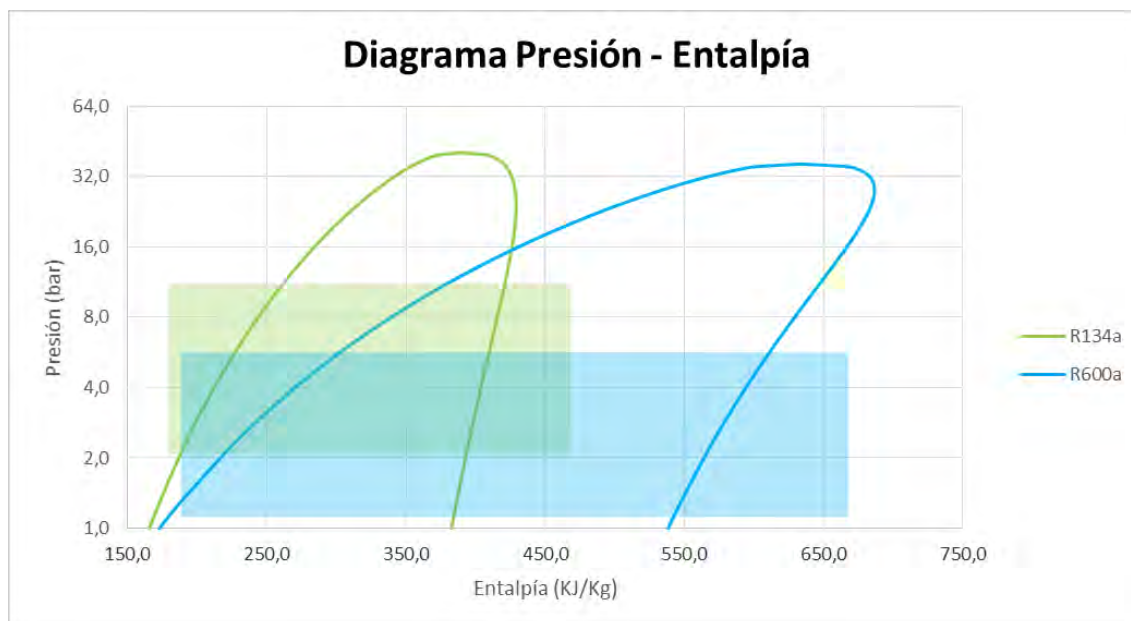


- Refrigerante R600a





Gráfica 1. Diagrama Presión – Entalpía.

En el diagrama presión (bar) – entalpía (KJ/Kg), las curvas de líquido saturado y vapor saturado del R134a y el R600a son bastante diferentes.

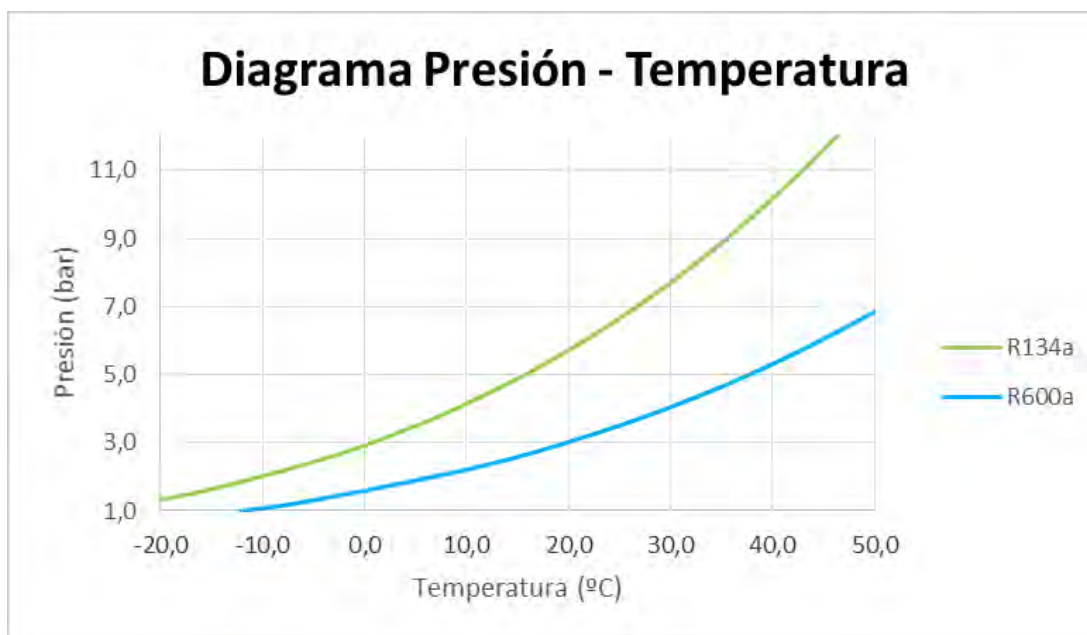
La presión crítica del R134a es de 40,6 bares, mientras que la presión crítica del R600a es de 36,3 bares.

También se puede observar que el salto entálpico entre vapor saturado y líquido saturado (λ) en el NBP, es mucho mayor para el R600a ($\lambda = 365,4$ KJ/Kg) que para el R134a ($\lambda = 217,2$ KJ/Kg).

La máquina de ensayos va a funcionar entre un rango de temperaturas que oscila entre -10 °C y 45 °C. Por lo tanto, las presiones del R134a van a oscilar entre 2 y 11,6 bares, mientras que las presiones del R600a van a oscilar entre 1,1 y 6 bares.

Por lo tanto, para un mismo rango de presiones y un mismo flujo másico, el R600a producirá mayor potencia frigorífica específica que el R134a.

3.2.4. Diagrama Presión (bar) – Temperatura (°C)



Gráfica 2. Diagrama Presión – Temperatura.

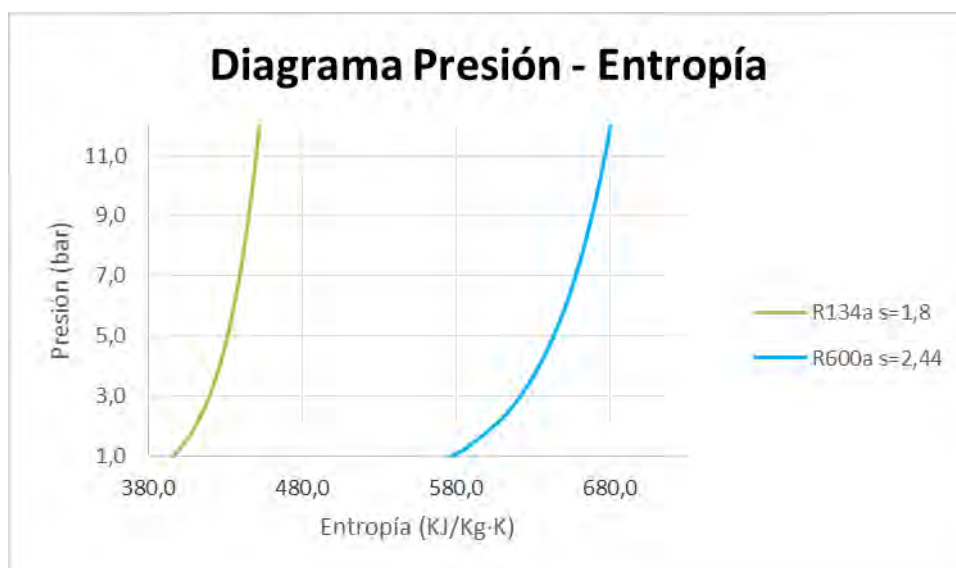
Para un mismo rango de temperaturas, la presión del R134a es siempre mayor a la presión del R600a.

La máquina de ensayos va a funcionar entre un rango de temperaturas que oscila entre -10 °C y 45 °C. Por lo tanto, las presiones del R134a van a oscilar entre 2 y 11,6 bares, mientras que las presiones del R600a van a oscilar entre 1,1 y 6 bares.

Como la tasa de compresión en el compresor es la presión de descarga dividido entre la presión de aspiración, la máxima tasa de compresión para el R134a será de $11,6/2 = 5,8$, mientras que el R600a tendrá una tasa máxima de compresión de $6/1,1 = 5,45$.

Cuanto mayor sea la tasa de compresión, más potencia va a consumir el compresor. Por lo tanto, como el R134a tiene mayor tasa de compresión que el R600a, consumirá mayor potencia.

3.2.5. Diagrama Presión (bar) – Entropía (KJ/Kg·K)



Gráfica 3. Diagrama Presión – Entropía.

La curva isoentrópica del R600a para una entropía igual a 2,44, está más acostada que la curva isoentrópica del R134a para una entropía igual a 1,8.

Esto quiere decir que para un mismo rango de presiones va a existir un mayor salto entálpico en el compresor para el R600a que para el R134a.

La potencia consumida por el compresor es igual al producto del caudal másico de refrigerante, multiplicado por el salto entálpico en el compresor.

Para un mismo caudal másico de refrigerante, la potencia consumida por el compresor del R600a sería mayor que la del R134a. Pero para una misma instalación, como el volumen específico del R600a es aproximadamente el doble que el del R134a, la potencia consumida por el compresor para el R600a será aproximadamente la mitad.

3.3. Legislación vigente

- **REGLAMENTO (UE) Nº 517/2014 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 16 de Abril de 2014 sobre los gases fluorados de efecto invernadero y por el que se deroga el Reglamento (CE) nº 842/2006.**

Este reglamento es aplicable a partir del 1 de Enero de 2015 y quedará derogado a partir de la misma fecha el Reglamento CE 842/2006.

Regula:

- Normativa sobre la contención, uso, recuperación y destrucción de gases fluorados de efecto invernadero.
- Condiciones para la comercialización de producto y aparatos que contengan gases fluorados de efecto invernadero o cuyo funcionamiento dependa de ellos.
- Establece condiciones a usos específicos de dichos gases y fija límites cuantitativos para su comercialización.

Prohibiciones de comercialización contempladas en el artículo 11, apartado 1.	Fecha de la prohibición
Frigoríficos y congeladores domésticos que contienen HFC con un PCA igual o superior a 150	1 de enero de 2015
Frigoríficos y congeladores para uso comercial (aparatos sellados herméticamente) que contienen HFC con un PCA igual o superior a 2500	1 de enero de 2020
Frigoríficos y congeladores para uso comercial (aparatos sellados herméticamente) que contienen HFC con un PCA igual o superior a 150	1 de enero de 2022
Aparatos fijos de refrigeración que contengan HFC, o cuyo funcionamiento dependa de ellos, con un PCA igual o superior a 2500, excepto los aparatos diseñados para aplicaciones destinadas a refrigerar productos a temperaturas inferiores a -50°C	1 de enero de 2020
Aparatos portátiles de aire acondicionado para espacios cerrados (aparatos sellados herméticamente que el usuario final puede cambiar de una habitación a otra) que contienen HFC con un PCA igual o superior a 150	1 de enero de 2020
Sistemas partidos simples de aire acondicionado que contengan menos de 3 Kg de gases fluorados de efecto invernadero o cuyo funcionamiento dependa de ellos, con un PCA igual o inferior a 750	1 de enero de 2025
...	...

Tabla 7. Calendario de prohibiciones de comercialización del reglamento (UE) nº517/2014.

- **R.D. 1042/2013: 27 de Diciembre de 2013**

Este Real Decreto entró en vigor el 30 de Diciembre de 2013 por el que se aprueba el reglamento del Impuesto sobre los Gases Fluorados. Con efecto a 1 de Enero de 2014.

Real Decreto 1074/2014, de 19 de diciembre, por el que se modifican el Reglamento del Impuesto sobre los Gases Fluorados de Efecto Invernadero, aprobado por el Real Decreto 1042/2013, de 27 de diciembre entre otros.

- **LEY 16/2013: 29 de Octubre de 2013**

Esta ley entró en vigor el 30 de Octubre de 2013, artículo 5 del, Sec. I. Pág. 87546 y trata sobre el nuevo impuesto sobre Gases Fluorados. Con efecto a 1 de enero de 2014.

Modificación Ley 16/2013 publicado en el BOE correspondiente a la Ley 28/2014. Lo dispuesto en los apartados uno, dos, tres y cuatro de esta modificación será de aplicación a partir del 1 de enero de 2014.

- **ACLARACIONES SOBRE LA LEY 16/2013 Y R.D. 1042/2013: 11 de Febrero de 2014**

¿Qué son los impuestos sobre los gases fluorados de efecto invernadero?

Se trata de un impuesto, no de una limitación del uso o del comercio, sin perjuicio de la necesidad de cumplir normativa sectorial para poder operar en el mercado. El impuesto grava las emisiones de gas fluorado a la atmósfera (HFC) siempre que tengan un poder de calentamiento igual o superior a 150. Este impuesto es sólo aplicable en territorio español.

Tipos impositivos:

- **Gases fluorados y mezclas con PCA>150:** Multiplicar 0,02 por el PCA, con un máximo de 100 €/Kg.
- **Gases reciclados y regenerados:** 85% del tipo establecido = $0,85 \times 0,02 \times \text{PCA}$
- **Escalado:** 2015 (66 % del tipo establecido = $0,66 \times 0,02 \times \text{PCA}$)
- **Poliuretano: gases para producirlo, o importados/adquiridos en poliuretano y fabricado:** 2015 (10 % = $0,1 \times 0,02 \times \text{PCA}$) y 2016 (20 % = $0,2 \times 0,02 \times \text{PCA}$)

Como el **R600a** tiene un **PCA = 3**, no tiene ningún impuesto. Sin embargo, el **R134a** tiene un **PCA = 1430**, por lo tanto, como es mayor a 150, sí tiene un impuesto.

El **R134a** en **2015** tiene un impuesto de **17,16 €/Kg** y en **2016** tendrá un impuesto de **26 €/Kg**.

- **R.D. 795/2010: 16 de Junio de 2010**

Este reglamento entró en vigor el 16 de junio de 2010 y regula la comercialización y manipulación de gases fluorados y equipos basados en los mismos, así como la certificación de los profesionales que los utilizan.

- **REGLAMENTO (CE) Nº 1005/2009 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 16 de septiembre de 2009 sobre las sustancias que agotan la capa de ozono.**

Este reglamento entró en vigor el 1 de enero de 2010.

- **REGLAMENTO EUROPEO CE Nº 1516/2007: 09 de Diciembre de 2007**

El reglamento (CE) Nº 1516/2007 de la comisión de 19/12/2007 por el que se establecen, de conformidad con el reglamento (CE) Nº 842/2006 del parlamento Europeo y del consejo, requisitos de control de fugas estándar para los equipos fijos de refrigeración, aires acondicionado y bombas de calor que contengan determinados gases fluorados de efecto invernadero.

- **REGLAMENTO (CE) Nº 842/2006 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 17 de mayo de 2006 sobre determinados gases fluorados de efecto invernadero.**

Este reglamento entró en vigor en junio de 2006.

- **LEYES ESPAÑOLAS DE RESIDUOS: 31 de Diciembre de 2005**

Incluyen a cualquier tipo de gas refrigerante en la lista europea de residuos peligrosos; definen exactamente el proceso de la gestión de residuos, así como los requisitos de los productores de residuos, gestores, etc. Cualquier gas refrigerante sea del tipo CFC, HCFC o HFC, se han de recuperar para su regeneración, reciclaje o destrucción. Está prohibido ventear cualquier refrigerante a la atmósfera. Las instalaciones han de estar inscritas en su correspondiente comunidad autónoma como pequeños productores de residuos. También establecen las multas en caso de incumplir esta reglamentación.

Ley 22/2011 de 28 de Julio de RESIDUOS Y SUELOS CONTAMINADOS deroga la Ley 10/1998. Orden MAM/304/2002 de 8 de febrero, por lo que se publican las operaciones de valoración y eliminación de residuos peligrosos. Además, los gases refrigerantes están afectados por leyes europeas como el Reglamento Comunitario CE Nº 1005/2009 y el CE Nº 842/2006, que obligan a recuperar todos los CFCs, HCFCs y HFC para su regeneración, reciclaje y destrucción.

- **Normativa para refrigerantes inflamables**

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 refrigerante 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, como 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 elementos por partes se consideran focos de refrigerante debido a la posibilidad de fugas. Esto incluye evaporadores, condensadores, calentadores de puertas, tuberías y compresor.
- ✓ La carga máxima de refrigerantes 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/m³ para cocinas estándares, los riegos de ignición son bajos aun si la distribución del refrigerante, en caso de fuga, es desigual.

3.4. Análisis teórico

En el siguiente apartado se desea evaluar el comportamiento teórico de los refrigerantes R600a y R134a para una misma instalación y para unas mismas condiciones de funcionamiento.

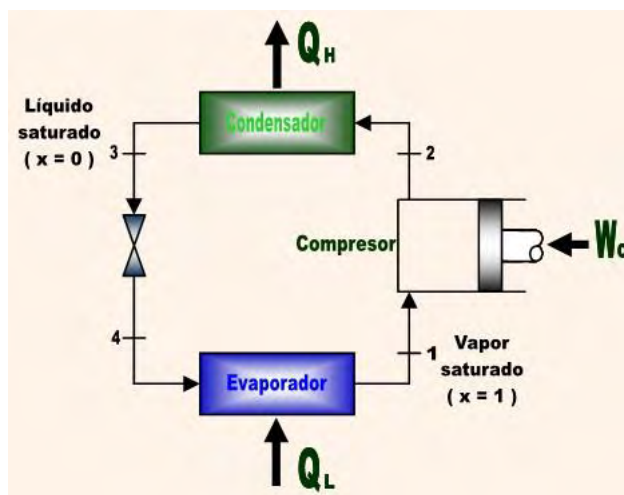


Ilustración 14. Análisis teórico.

Para realizar el análisis vamos a suponer un ciclo inverso de Carnot perfecto. Este ciclo perfecto está constituido por cuatro elementos si se quiere analizar el ciclo sin IHX y por cinco elementos si se quiere analizar el ciclo con IHX:

1. **Compresor:** es el principal elemento de la instalación, ya que es el encargado de aportar el trabajo externo al sistema. El compresor debe funcionar siempre en fase vapor.
2. **Condensador:** es un intercambiador que se encarga de condensar el refrigerante hasta que consigue transformarse totalmente en fase líquida.
3. **Válvula de expansión:** es donde se produce la expansión de líquido, disminuyendo la presión hasta la presión de evaporación. La válvula de expansión debe funcionar siempre en fase líquida.
4. **Evaporador:** es un intercambiador que se encarga de evaporar el refrigerante hasta que consigue transformarse totalmente en fase vapor.
5. **Intercambiador de calor intermedio (IHX):** es un intercambiador situado entre la salida del condensador y la salida del evaporador, que tiene dos funciones. La primera función es la de subenfriar el líquido que sale del condensador para alejarlo lo máximo posible a la izquierda de la campana de saturación. Con esto se consigue asegurarse que nunca entre fase vapor que no ha sido condensado a la válvula de expansión. La segunda función es la de recalentar el vapor que sale del evaporador para alejarlo lo máximo posible a la derecha de la campana de saturación. Con esto se consigue asegurarse que nunca entre parte de líquido que no haya podido ser evaporado en el compresor. Además, el IHX mejora el rendimiento de la instalación, ya que el salto entálpico en el evaporador es mayor con IHX que sin él.

Etapas:

- **Compresión (1 – 2):** en esta etapa el refrigerante que sale del evaporador en condiciones de vapor saturado, es aspirado por el compresor y es descargado de manera isentrópica.

Condiciones del punto 1 (entrada compresor): este punto se calcula con la presión de evaporación y la temperatura de vapor saturado en función de la presión de evaporación más el recalentamiento total.

Condiciones del punto 2 (salida compresor): este punto se calcula con la presión de condensación y la entropía del punto 1, ya que $s_1 = s_2$ (ciclo ideal).

- **Condensación (2 – 3):** el vapor a alta temperatura y presión de condensación es introducido en el intercambiador produciéndose una cesión de calor al foco caliente.

Condiciones del punto 2 (entrada condensador): es el mismo punto que el de salida del compresor.

Condiciones del punto 3 (salida condensador): este punto se calcula con la condición de líquido saturado, o si hay subenfriamiento, temperatura de condensación menos subenfriamiento.

- **Expansión (3 – 4):** la aspiración de refrigerante en la válvula de expansión debe realizarse en fase líquida, mientras que la descarga se realiza en zona bifásica (líquido + vapor).

Condiciones del punto 3 (entrada válvula de expansión): es el mismo punto que el de salida del condensador.

Condiciones del punto 4 (salida válvula de expansión): este punto se calcula con la presión de evaporación y la entalpía del punto 3, ya que $h_3 = h_4$.

- **Evaporación (4 – 1):** el refrigerante en zona bifásica entra en el evaporador absorbiendo calor del foco frío y es vaporizado hasta convertirse todo el refrigerante en fase vapor.

Condiciones del punto 4 (entrada evaporador): es el mismo punto que el de salida de la válvula de expansión.

Condiciones del punto 1 (salida evaporador): es el mismo punto que el de entrada al compresor.

3.4.1. Análisis teórico sin IHX

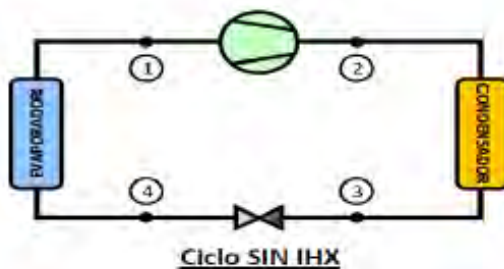


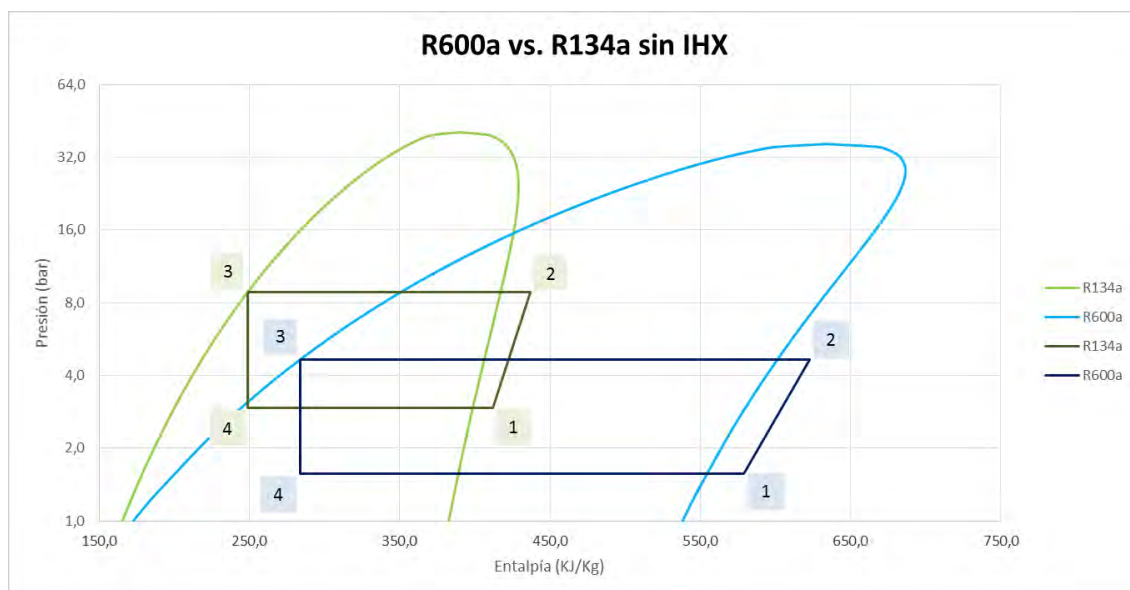
Ilustración 15. Análisis teórico sin IHX.

Para una temperatura de condensación igual a 35 °C, una temperatura de evaporación igual a 0 °C y un recalentamiento total de la instalación igual a 15 °C, se ha obtenido:

	R134a	R600a	R134a	R600a	R134a	R600a	R134a	R600a	R134a	R600a	R134a	R600a
	P	P	T	T	h	h	s	s	v	v	q	q
	(bar)	(bar)	(°C)	(°C)	(KJ/Kg)	(KJ/Kg)	(KJ/Kg·K)	(KJ/Kg·K)	(m3/Kg)	(m3/Kg)	(-)	(-)
1 Entrada compresor	2,9	1,6	15	15	412,0	579,0	1,77	2,39	0,0745	0,2503	-	-
2 Salida compresor	8,9	4,6	53,5	46,4	436,8	622,7	1,77	2,39	0,0257	0,088	-	-
3 Salida condensador	8,9	4,6	35	35	249,0	283,7	1,17	1,29	0,0008	0,0019	0	0
4 Entrada evaporador	2,9	1,6	0	0	249,0	283,7	1,18	1,31	0,0177	0,0568	0,247	0,236

Tabla 8. Resultados del análisis teórico sin IHX.

- **Punto 1:** el primer punto se calcula mediante la intersección de la recta de presión de evaporación y la curva de la temperatura de recalentamiento total de la instalación.
- **Punto 2:** el segundo punto se calcula mediante la intersección de la recta de presión de condensación y la curva isoentrópica del punto 1 ($s_1 = s_2$), ya que para un ciclo ideal no se consideran pérdidas en el compresor.
- **Punto 3:** el tercer punto se calcula mediante la intersección de la recta de presión de condensación y la curva de líquido saturado del refrigerante.
- **Punto 4:** el cuarto punto se calcula mediante la intersección de la recta de presión de evaporación y la recta isoentálpica del punto 3 ($h_3 = h_4$).



Gráfica 4. Análisis teórico sin IHX.

Las presiones de funcionamiento del R134a son mayores al R600a. Esto supone un mayor consumo del compresor para el R134a. Pero como la curva isoentrópica en el compresor para el R600a es menos inclinada en el R134a, el salto entálpico en el compresor es mayor para el R600a. Como se supone que se trabaja en una misma instalación, el volumen específico del R600a es aproximadamente el doble al R134a, por lo tanto, circula aproximadamente la mitad de caudal másico. Como la potencia es igual al caudal másico por el salto entálpico, la potencia consumida por el compresor del R134a será mayor a la del R600a.

Además, para un mismo rango de temperaturas de funcionamiento, el salto entálpico en el evaporador es mucho mayor para el R600a que para el R134a. Pero como se acaba de mencionar, el caudal másico del R600a es aproximadamente la mitad. Como la potencia frigorífica es igual al producto del caudal másico multiplicado por el salto entálpico en el compresor, la potencia frigorífica generada por el R134a será mayor que la del R600a.

3.4.2. Análisis teórico con IHX

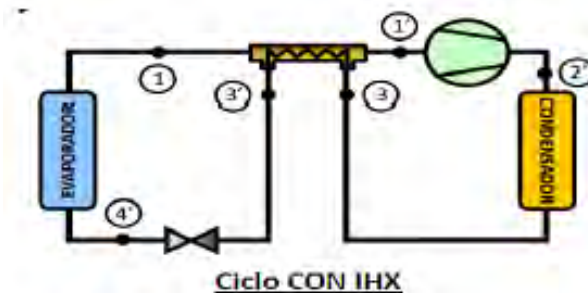


Ilustración 16. Análisis teórico con IHX.

Para una temperatura de condensación igual a 35 °C, una temperatura de evaporación igual a 0 °C, un recalentamiento total de la instalación igual a 15 °C, y una eficiencia del intercambiador intermedio igual al 50 %, se ha obtenido:

	R134a	R600a	R134a	R600a	R134a	R600a	R134a	R600a	R134a	R600a	R134a	R600a
	P	P	T	T	h	h	s	s	v	v	q	q
	(bar)	(bar)	(°C)	(°C)	(KJ/Kg)	(KJ/Kg)	(KJ/Kg·K)	(KJ/Kg·K)	(m3/Kg)	(m3/Kg)	(-)	(-)
1' Entrada compresor	2,9	1,6	25	25	420,8	595,9	1,80	2,44	0,0779	0,2604	-	-
2' Salida compresor	8,9	4,6	63,3	56,2	446,9	641,5	1,80	2,44	0,027	0,0918	-	-
3' Salida condensador	8,9	4,6	28,9	28,2	240,1	266,8	1,14	1,23	0,0008	0,0018	-	-
4' Entrada evaporador	2,9	1,6	0	0	240,1	266,8	1,15	1,24	0,0146	0,0457	0,202	0,188

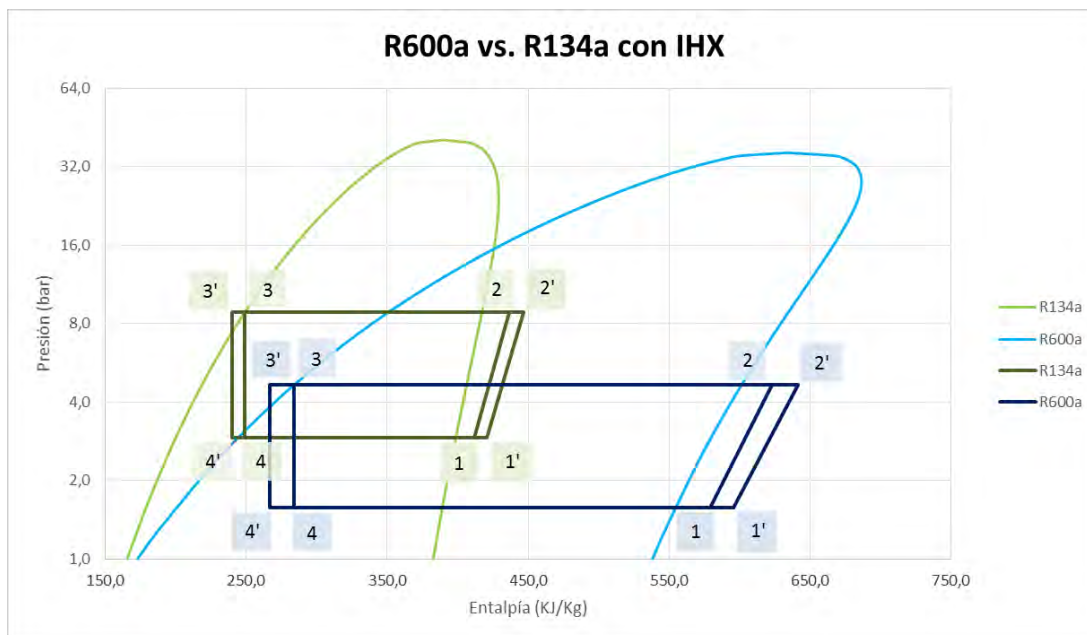
Tabla 9. Resultados del análisis teórico con IHX.

Con las siguientes dos ecuaciones se pueden calcular los puntos 1' y 3':

$$\varepsilon_{IHX} = \frac{T_{1'} - T_1}{T_3 - T_1}$$

$$h_3 - h_{3'} = h_{1'} - h_1$$

- **Punto 1'**: se calcula mediante la intersección de la recta de presión de evaporación y la curva de la temperatura 1', que se despeja de la ecuación (1).
- **Punto 2'**: se calcula mediante la intersección de la recta de presión de condensación y la curva isoentrópica del punto 1' ($s_1' = s_2'$).
- **Punto 3'**: se calcula mediante la intersección de la recta de presión de condensación y la entalpía 3', que se despeja de la ecuación (2).
- **Punto 4'**: se calcula mediante la intersección de la recta de presión de evaporación y la recta isoentálpica del punto 3' ($h_3' = h_4'$).



Gráfica 5. Análisis teórico con IHX.

La instalación tiene un comportamiento muy parecido con IHX respecto sin IHX, pero tiene la ventaja que con el IHX se consigue aumentar el salto entálpico en el evaporador y por tanto, la potencia frigorífica absorbida por el evaporador.

En contra, como la temperatura de aspiración en el compresor es mayor con IHX respecto sin IHX, el compresor sufrirá más.

3.4.3. Comparativa teórica del R600a vs. R134a con y sin IHX

Refrigerante	To (°C)	Tk (°C)	Eficiencia IHX (-)	CON IHX	SIN IHX	CON IHX	SIN IHX	CON IHX	SIN IHX	mref (kg/s)	CON IHX	SIN IHX	CON IHX	SIN IHX	CON IHX	SIN IHX	CON IHX	SIN IHX
				COP (-)	COP (-)	Qo (W)	Qo (W)	Pc (W)	Pc (W)		qo (kJ/kg)	qo (kJ/kg)	wc (kJ/kg)	wc (kJ/kg)	Tdes (°C)	Tdes (°C)	qv (kJ/m3)	qv (kJ/m3)
R134a	0	35	0,5	6,94	6,55	180,7	162,9	26,0	24,9	1	180,7	162,9	26,0	24,9	63,3	53,5	2320,8	2092,4
R600a	0	35	0,5	7,23	6,75	164,6	147,7	22,8	21,9	0,5	329,2	295,3	45,5	43,7	56,2	46,4	1264,0	1179,8

Tabla 10. Resultados de la comparativa teórica del R600a vs. R134a con y sin IHX.

$$COP = \frac{\dot{Q}_o}{P_c}$$

$$\dot{Q}_o = \dot{m} \cdot q_o$$

$$P_c = \dot{m} \cdot w_c$$

$$q_v = \frac{q_o}{v_{asp,comp}}$$

Las temperaturas de descarga en el compresor con vs. sin IHX para los dos refrigerantes, son siempre mayores con IHX. La temperatura de descarga en el compresor para el R134a es siempre mayor al R600a, por lo tanto, el compresor sufrirá más con el R134a.

Los saltos entálpicos en el evaporador con vs. sin IHX para los dos refrigerantes, son siempre mayores con IHX. El salto entálpico en el evaporador para el R600a es siempre mayor al R134a. Ahora bien, como el volumen específico del R600a es aproximadamente el doble al R134a, el caudal másico que circule por la instalación será aproximadamente la mitad. Por tanto, como la potencia frigorífica es el producto del caudal másico por el salto entálpico, para una misma instalación, las potencias frigoríficas serán mayores para el R134a.

El salto entálpico en el compresor con vs. sin IHX para los dos refrigerantes son siempre mayores con IHX. El salto entálpico en el compresor para el R600a es siempre mayor al R134a. Ahora bien, como el caudal másico del R600a es aproximadamente la mitad al R134a, para una misma instalación, las potencias consumidas por el compresor serán mayores para el R134a.

Los valores de COP con vs. sin IHX para los dos refrigerantes, son siempre mayores con IHX. Los valores de COP para el R600a son siempre mayores a los del R134a. Esto es así porque el R600a produce menos potencia frigorífica, pero además, el compresor consume menos energía.

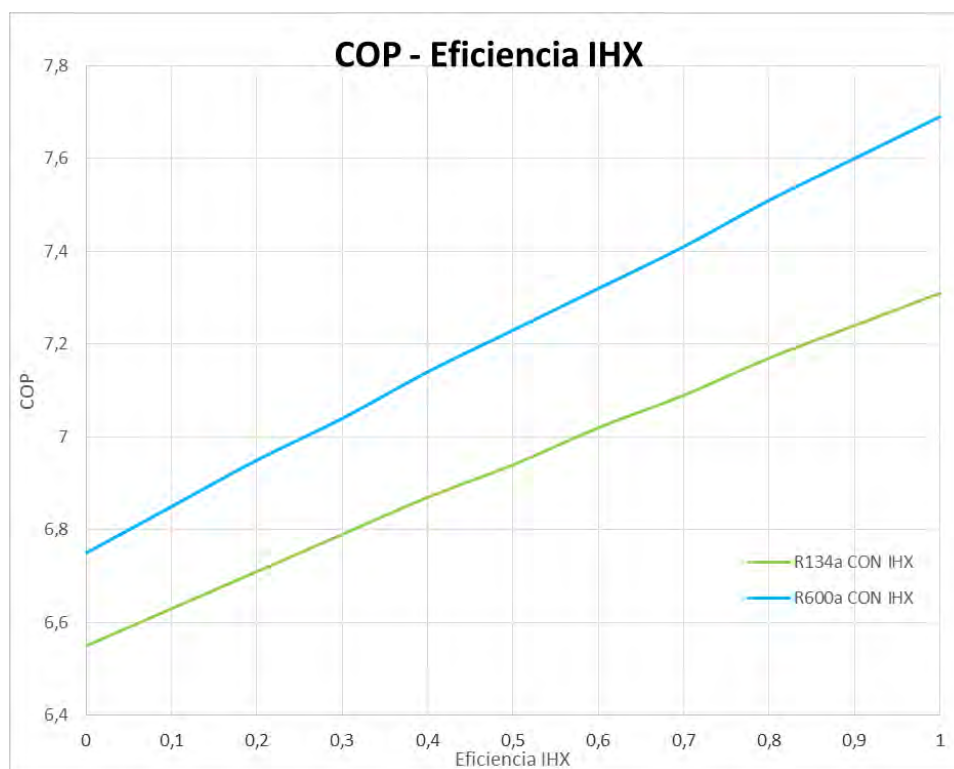
Como los valores de q_v (capacidad de enfriamiento volumétrico) para el R134a es mayor que para el R600a, se puede producir más energía frigorífica por unidad de volumen con el R134a.

A continuación se muestra una tabla que muestra cómo evoluciona el COP, en función de la eficiencia del intercambiador, para los refrigerantes R600a y R134a:

To = 0 °C
 Tk = 35 °C
 RT = 15 °C

R134a CON IHX		R600a CON IHX	
COP	Eficiencia IHX	COP	Eficiencia IHX
(-)	(-)	(-)	(-)
6,55	0	6,75	0
6,63	0,1	6,85	0,1
6,71	0,2	6,95	0,2
6,79	0,3	7,04	0,3
6,87	0,4	7,14	0,4
6,94	0,5	7,23	0,5
7,02	0,6	7,32	0,6
7,09	0,7	7,41	0,7
7,17	0,8	7,51	0,8
7,24	0,9	7,6	0,9
7,31	1	7,69	1

Tabla 11. Comparativa COP vs. Eficiencia del IHX.



Gráfica 6. Comparativa COP vs. Eficiencia del IHX.

Como se puede observar en la gráfica, cuanto mayor sea la eficiencia del IHX, mayor será el COP en la instalación. Además, el COP del R600a es siempre mayor al COP del R134a.

3.5. Descripción de la instalación

3.5.1. Descripción de los elementos de la instalación principal.

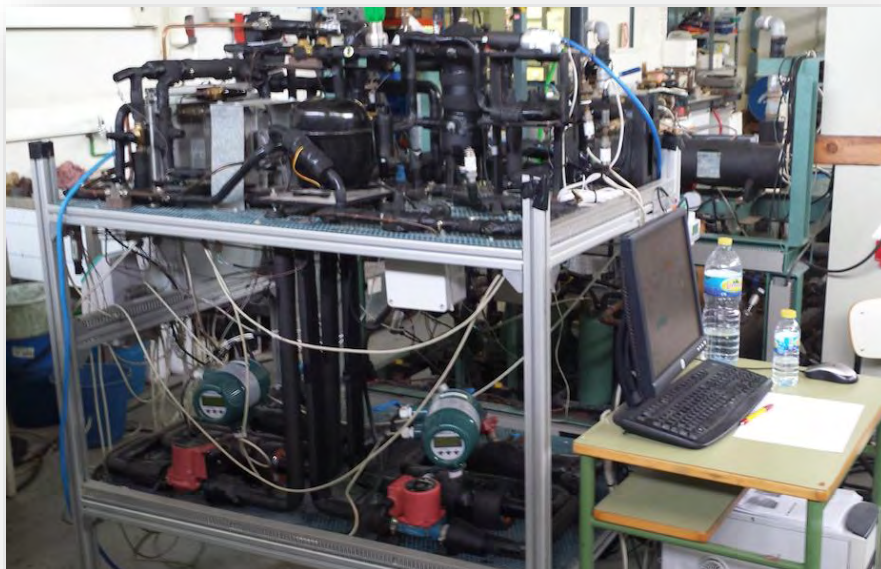


Ilustración 17. Instalación donde se han realizado los ensayos.

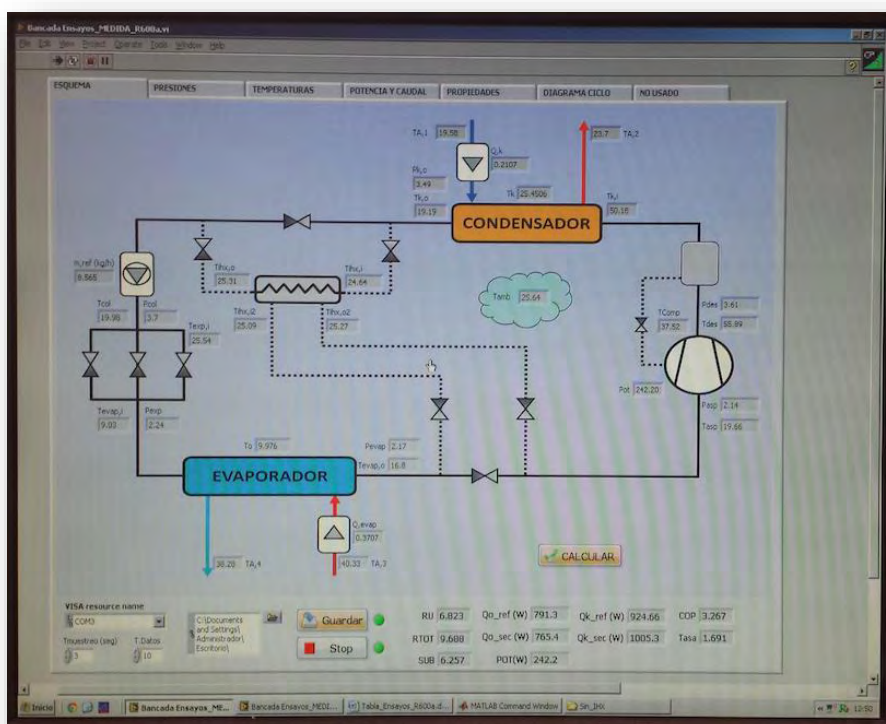


Ilustración 18. Esquema de la instalación.

3.5.1.1. Compresor

Los compresores son máquinas de fluido construidas para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tal como gases o vapores. Esto se realiza a través de un intercambio de energía entre la máquina y el fluido en el cual el trabajo ejercido por el compresor es transferido a la sustancia que pasa por él convirtiéndose en energía de flujo, aumentando su presión y su energía cinética, impulsándola a fluir.



Ilustración 19. Compresor hermético.

Descripción:

Fabricante	EMBRACO
Modelo	NEK6210Z
Tipo de compresor	Hermético
Refrigerante	R134a
Voltaje	220 – 240 V
Frecuencia (Hz)	50
Aplicación	HBP
HP	1/3 +
Eficiencia	1,95
Capacidad	971
Desplazamiento (cm³)	12,11
Tipo de aceite	ISO22
Carga de aceite (ml)	350
Tipo de motor	CSIR
Torque (Par) de Arranque	HST
Tipo de Prueba	ASHRAE46

Tabla 12. Descripción del compresor.

Características externas:

	Formato	Material	Diámetro (mm)
Tubo de Succión	Curvo 42º	Cobre	8,1
Tubo de Descarga	Recto	Cobre	6,1
Tubo de Servicio	Curvo 42º	Cobre	6,1

Placa Base	Padrón Europeo
Soporte de Bandeja	No
Peso (Kg)	11

Tabla 13. Características externas del compresor.

Aplicación:

Temperatura ambiente máxima (°C)	43
Dispositivo de expansión	Capilar / Válvula
Enfriamiento	Con ventilador

Tabla 14. Aplicación del compresor.

Datos mecánicos:

Lista de Ingeniería	268BA51
Torque (Par) de Arranque	Alto Torque de Arranque
Diámetro (mm)	27,78
Curso (mm)	10
Peso (Kg)	11

Tabla 15. Datos mecánicos del compresor.

Datos eléctricos:

Tipo de motor	CSIR
Resistencia de bobina (25 °C) – Iniciar	31,7
Resistencia de bobina (25 °C) – Run	5,18

Tabla 16. Datos eléctricos del compresor.

3.5.1.2. Ventilador

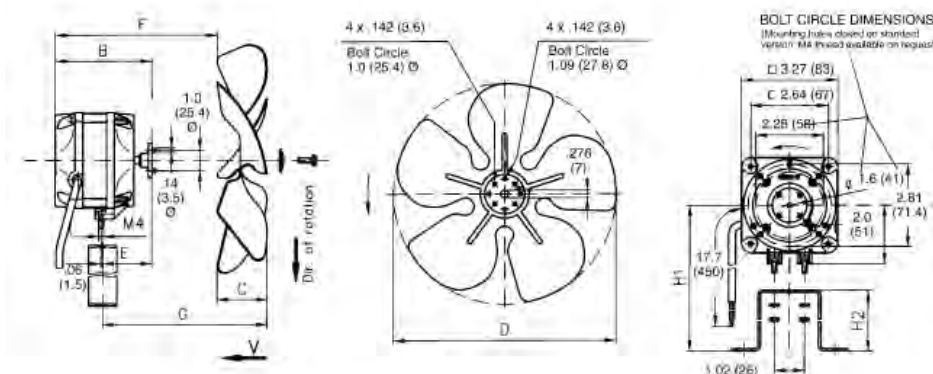


Ilustración 20. Ventilador.

Características:

Fabricante	EBMPAPST
Modelo	M4Q045 – BD01
Voltaje	230 V
Frecuencia	50 Hz
Intensidad	0,19 A
Velocidad angular	1300 rpm
Material	Aluminio

Tabla 17. Características del ventilador.

3.5.1.3. Filtro de aceite



Ilustración 21. Filtro de aceite.

Características:

Fabricante	SWAGELOK
Modelo	SS – FCE – TR
Volumen Interno	19,7 cm ³
Presión máxima	140 bar
Tipo de conexión	NPT hembra
Tamaño de conexión	1/4 "
Material del cuerpo	Acero inoxidable 316
Proceso de limpieza	Limpieza y embalaje estándar (SC – 10)

Tabla 18. Características del filtro de aceite

3.5.1.4. Condensador



Ilustración 22. Condensador

Características:

Fabricante	ALFA LAVAL
Modelo	AXP14 – 50H – F
Potencia Nominal	30 KW
Número de pasos	1
Aislante	Coquilla Armaflex de 10 mm de espesor
Número de placas	50

Tabla 19. Características del condensador.

- Zona de refrigerante:

Diámetro exterior	5/8 "
Material	Acero
Presión máxima	152 bar (90 °C) y 133 bar (225 °C)

Tabla 20. Características del condensador en la zona de refrigerante.

- Zona de agua:

Diámetro exterior	3/4 "
Material	Acero
Presión máxima	110 bar (90 °C) y 96 bar (225 °C)

Tabla 21. Características del condensador en la zona de agua.

3.5.1.5. Intercambiador de calor intermedio (IHX)

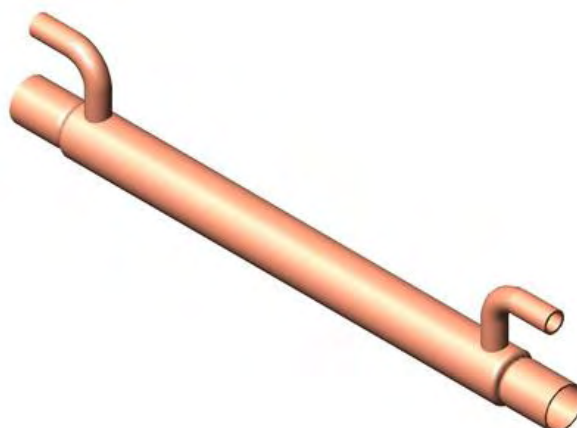


Ilustración 23. Intercambiador de calor intermedio (IHX).

Características:

Fabricante	PACKLESS
Modelo	HXR – 50
Largo	320 mm
Fondo	22 mm
Alto	59 mm
Material	Cobre

Tabla 22. Características del IHX.

3.5.1.6. Depósito de expansión

Su función es la de almacenar refrigerante y conseguir una diferenciación entre el estado líquido y el gaseoso. Gracias a esto, se consigue una instalación mucho más segura al tener conocimiento del estado del refrigerante en la entrada de los elementos susceptibles a algún estado en concreto.



Ilustración 24. Depósito de expansión.

3.5.1.7. Válvula de expansión

Con modulación proporcional, permiten un control eficiente de las unidades de refrigeración y climatización, así como el ahorro energético.



Ilustración 25. Válvula exp electron Carel E2V09BSF00

El driver controla el posicionamiento de la válvula de expansión electrónica. Se puede programar a través de PC o con el display extraíble e intercambiable.



Ilustración 26. Driver EVD Evolution + Display

3.5.1.8. Evaporador



Ilustración 27. Evaporador.

Características:

Fabricante	ALFA LAVAL
Modelo	AXP14 – 20H – F
Potencia Nominal	15 KW
Número de pasos	1
Aislante	Coquilla Armaflex de 10 mm de espesor
Número de placas	20

Tabla 23. Características del evaporador.

- Zona de refrigerante:

Diámetro Exterior	5/8 "
Material	Acero
Presión máxima	140 bar (90 °C) y 102 bar (225 °C)

Tabla 24. Características del evaporador en la zona de refrigerante.

- Zona de agua:

Diámetro Exterior	3/4 "
Material	Acero
Presión máxima	228 bar (90 °C) y 165 bar (225 °C)

Tabla 25. Características del evaporador en la zona de agua.

3.5.1.9. Válvulas



Ilustración 28. Válvula Swagelok.

Características:

Válvula	Color latón	Color plata
Fabricante	SWAGELOK	SWAGELOK
Modelo	B – 4456	SS – 43Gs6
Presión máxima	151 bar	206 bar
Temperatura servicio	Entre 65 °C y 151 °C	Entre -53 °C y 148 °C
Materiales	Latón y plástico	Acero inoxidable y plástico

Tabla 26. Características de las válvulas.

3.5.1.10. Visores

Los visores de líquido se utilizan para indicar el estado del refrigerante, el nivel de líquido del recipiente o el nivel de aceite del compresor. El visor lleva un aro de indicador sensible que refleja un color u otro, dependiendo del contenido de humedad en el refrigerante.



Ilustración 29. Visor.

3.5.2. Descripción de los equipos secundarios para el aporte y disipación de calor.

Se dispone de dos sistemas de simulación de cargas térmicas y control de las instalaciones de producción, aptos para un amplio rango de trabajo de las máquinas de producción de frío. Estas instalaciones permiten simular experimentalmente cargas en evaporación desde $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y en condensación desde $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La instalación se conecta mediante una serie de tuberías y bombas auxiliares al S.A.T. (Sistema de Apoyo Térmico), con el fin de éste proporcione las cargas térmicas necesarias para poder realizar los ensayos además de poder regular las propiedades del fluido y fijar correctamente las temperaturas de evaporación y condensación.

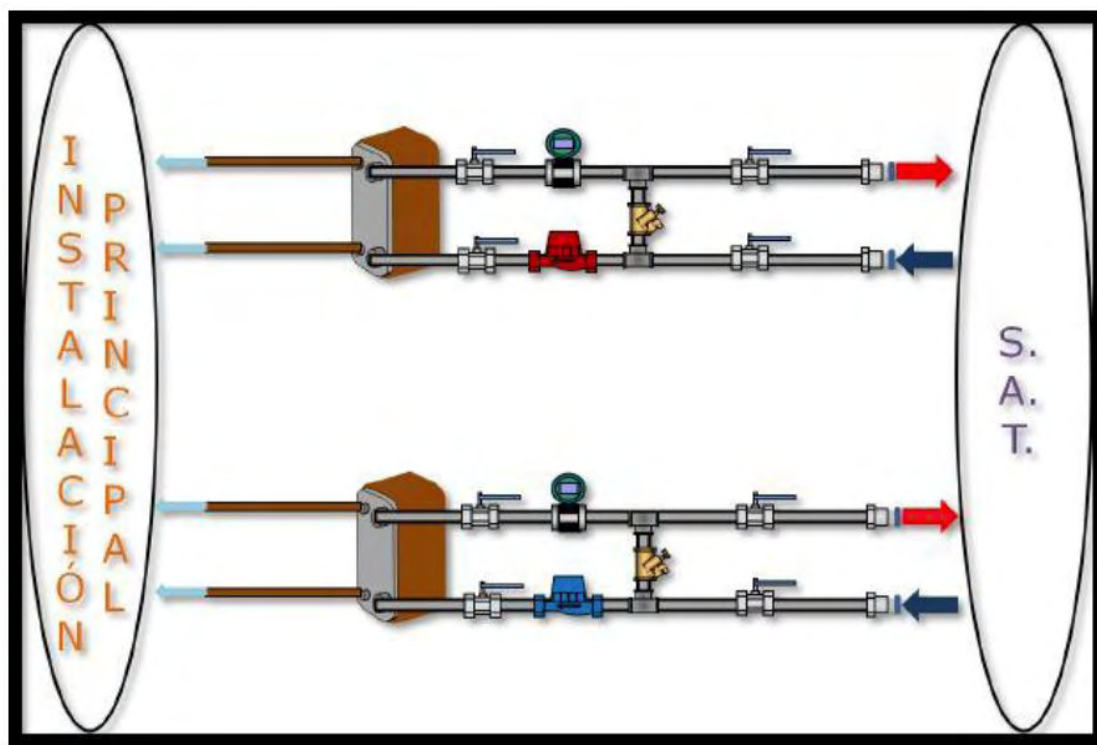


Ilustración 30. Esquema de los elementos que enlazan la instalación principal con el S.A.T.

Este sistema es alimentado mediante el S.A.T. Como se puede observar en la figura, se ha instalado una bifurcación o bypass a la entrada de cada alimentación. Este bypass se ha colocado para realizar una regulación más rápida y precisa.

La unidad de simulación de carga en el evaporador emplea una mezcla de agua y monoetilenglicol al 50 % en volumen como fluido frigorígeno para evitar que se congele cuando trabaja a temperaturas de evaporación por debajo de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Por otro lado, la unidad de simulación de carga en el condensador emplea sólo agua, ya que las temperaturas de funcionamiento nunca bajan por debajo de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- **Lado de baja temperatura (evaporador)**



Ilustración 31. S.A.T en el lado de baja temperatura (evaporador).

1. Bomba centrífuga
2. Variador de frecuencia de la bomba
3. Depósito
4. Vaso de expansión
5. Resistencias eléctricas

- **Lado de alta temperatura (condensador)**

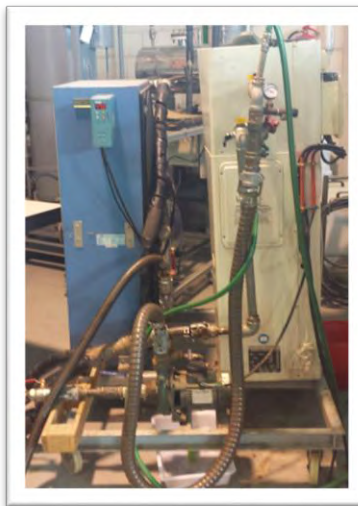


Ilustración 32. S.A.T en el lado de alta temperatura (condensador)

1. Bomba
2. Enfriadora Roca
3. Enfriadora intercambiador placas y tubos
4. Variador de frecuencia del ventilador del intercambiador

3.5.3. Descripción de los elementos de medida

Tanto la instalación principal como la instalación secundaria, han sido dotadas de elementos de medida con el fin de obtener resultados para su posterior análisis. Estos elementos de medida han sido conectados a un sistema de adquisición de datos para su posterior tratamiento.

Los dispositivos de recogida de datos son los siguientes: 6 sondas de presión, 7 termopares de inmersión, 12 termopares de superficie, 2 caudalímetros magnéticos y 1 tipo coriolis. Además, para la medición de la potencia consumida por el compresor se ha añadido un vatímetro.

El siguiente esquema muestra la situación de los elementos de medida.

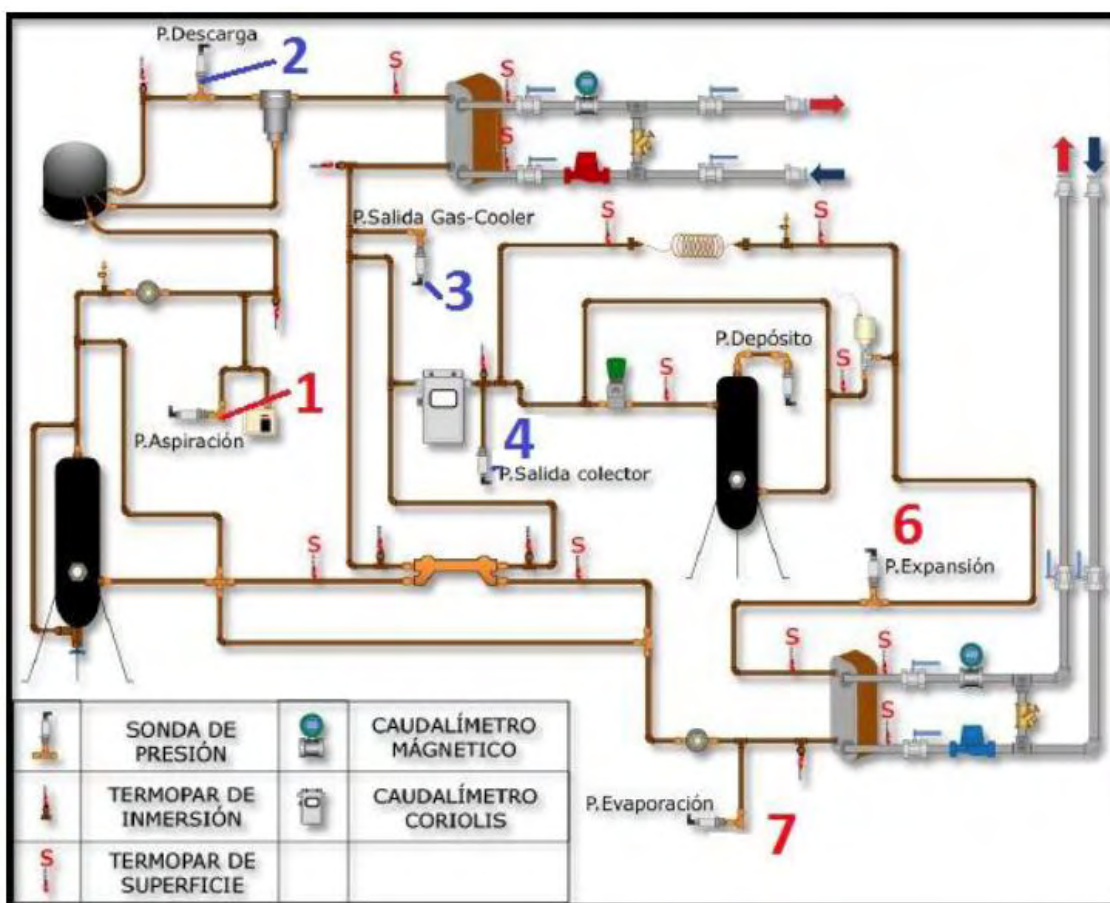


Ilustración 33. Descripción de los elementos de medida.

3.5.3.1. Sondas de presión

Hay dos tipos de sondas en la instalación, las de la zona de alta presión y las de la zona de baja presión.

- **Zona de alta presión**

Las sondas de alta presión están situadas entre la descarga del compresor y la válvula de expansión, pasando por el caudalímetro, el depósito y el condensador.

En esta zona hay tres sondas. La sonda número 2 mide la presión en la descarga del compresor, la sonda número 3 mide la presión a la salida del condensador y la sonda número 4 mide la presión en el colector de expansión.



Ilustración 34. Sondas en la zona de alta presión.

Características:

Marca	PMA	
Conformidad	0,3 %	
Límite de sobrecarga	600 bar	
Medio de presión	Gases, vapores y líquidos	
Voltaje de salida	Entre 0 y 10 V	
Señal	Entre 4 y 20 mA	
Modelo	P40	P41
Material	X2CrNiMo 1810	X5 CrNi 189

Tabla 27. Características de las sondas en la zona de alta presión.

- **Zona de baja presión**

Las sondas de baja presión están situadas entre la salida de la válvula de expansión y la aspiración del compresor, pasando por el evaporador.

En esta zona hay tres sondas. La sonda número 1 mide la presión en la aspiración del compresor, la sonda número 6 mide la presión a la entrada del evaporador y la sonda número 7 mide la presión a la salida del evaporador.



Ilustración 35. Sondas en la zona de baja presión.

Características:

Marca	Johnson Controls
Modelo	P499
Conformidad	0,25 %
Límite de descarga	5 veces el valor nominal
Medio de presión	Fluidos compatibles con acero inoxidable 17/4
Voltaje de salida	Entre 0,5 y 4,5 VDC
Señal de salida	Entre 4 y 20 mA

Tabla 28. Características de las sondas en la zona de baja presión.