

Table of Contents

1 Ciclo frigorífico.....	2
1.1 Ciclo frigorífico.....	2
1.1.1 Coeficiente de funcionamiento COP y EER.....	3
1.1.2 Componentes de la instalación frigorífica por compresión.....	4
1.1.3 Ciclo frigorífico en el diagrama p h.....	7
1.1.4 Caudal m ³ sico.....	11
1.1.5 EER de un sistema ideal.....	12
1.1.6 Relación de compresión en un sistema frigorífico.....	13
1.2 Ejercicios ciclo frigorífico.....	14
1.3 Influencia del sobrecaleamiento y subenfriamiento en la eficiencia y el compresor.....	21
1.4 Puntos de medición de temperatura y presión.....	25
1.5 Símbolos según UNE EN 1861.....	28
1.6 Soluciones.....	29

1 Ciclo frigorífico

1.1 Ciclo frigorífico

En el ciclo frigorífico intervienen tres elementos principales en lo que a los flujos de energía se refiere:

Evaporador

En el evaporador se evapora el medio refrigerante a baja temperatura y presión, absorbiendo (eliminando) calor del espacio refrigerado. Este calor se identifica con Q_E .

Condensador

En el condensador condensa el medio refrigerante a alta temperatura y presión, cediendo calor al medio ambiente, exterior al espacio refrigerado. Este calor se identifica con Q_C .

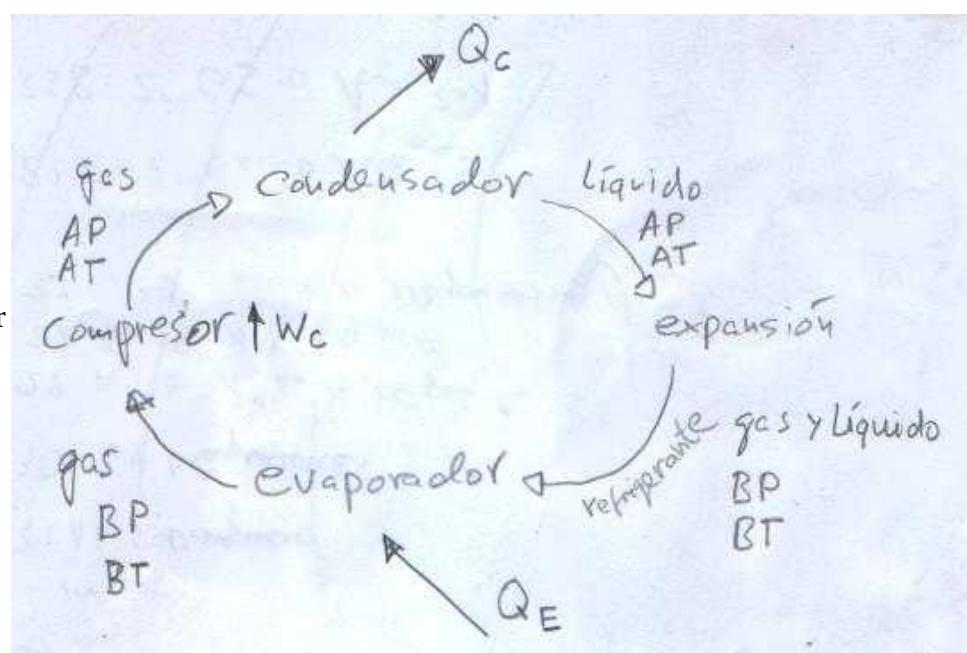
Compresor

El compresor recibe el refrigerante en forma de vapor a baja presión y temperatura, lo comprime, y lo descarga a alta presión y temperatura. Este proceso aporta trabajo al gas refrigerante. Este trabajo se identifica con W_C .

La relación entre estos flujos de energía es

$$Q_C = Q_E + W_C$$

El calor cedido por el condensador es el calor absorbido por el evaporador sumado al trabajo aportado por el compresor.



1.1.1 Coeficiente de funcionamiento COP y EER

La eficiencia de una instalación frigorífica se indica con el EER (Energy Efficiency Ratio)

$$EER = \frac{Q_E}{W_C}$$

La eficiencia de una bomba de calor se indica con el COP (Coefficient Of Performance)

$$COP = \frac{Q_C}{W_C}$$

Como el calor cedido por el condensador siempre es mayor al calor absorbido por el evaporador

$Q_C = Q_F + W_C$ el COP siempre es mayor al EER.

$$COP = \frac{Q_C}{W_C} = \frac{Q_E + W_C}{W_C} = \frac{Q_E}{W_C} + 1 = EER + 1$$

1.1.2 Componentes de la instalación frigorífica por compresión

Los componentes principales de una instalación frigorífica por compresión y su función son:

Compresor

Eleva la presión y temperatura del refrigerante mediante un mecanismo compresor. La temperatura del refrigerante debe ser elevada por encima de la temperatura del medio (aire, agua, tierra) al que se cederá el calor.

A lado de baja presión del compresor se conecta un termostato de mínima y al lado de alta presión un presostato de máxima.

El presostato de máxima desconecta el compresor al alcanzarse en el lado de alta presión el valor ajustado. Su función es proteger la instalación contra presiones excesivas.

El presostato de mínima desconecta el compresor al alcanzarse en el lado de baja presión el valor ajustado. Su función es evitar que la presión baje del valor ajustado. Se debe evitar que la presión en la instalación baje de 1 bar porque en este caso aspiraría aire del exterior.

Tubería de descarga

Conecta el compresor con el condensador. El refrigerante sale de la conexión de descarga del compresor en estado de gas a alta temperatura y presión. La tubería de descarga lo dirige al condensador.

Condensador

Cede el calor al medio exterior (aire, agua, tierra), calentándolo. El refrigerante cambia de estado, condensando. A la salida del condensador, el refrigerante se encuentra en estado líquido.

Depósito de líquido

Almacena el refrigerante líquido condensado.

Tubería de líquido

Transporta el refrigerante líquido del depósito al dispositivo de expansión.

Insertados en la tubería de líquido se encuentran el filtro secador y el visor de refrigerante.

Dispositivo de expansión

Al pasar el refrigerante por el dispositivo de expansión, se reduce su presión y temperatura. Los dispositivos de expansión más comunes son la válvula de expansión termostática y el tubo capilar. A la entrada del dispositivo de expansión se encuentra una electroválvula (EV). La señal para que la EV abra o cierre el paso al refrigerante la da el termostato de ambiente. La sonda del termostato de

ambiente detecta la temperatura del recinto refrigerado. En el termostato se ajusta una temperatura de consigna, que al ser alcanzada causa el cierre de la EV. Al cerrar la EV, el evaporador deja de recibir refrigerante y se reduce la absorción de calor del recinto refrigerado. Al para la refrigeración, la temperatura del recinto comienza a aumentar. En el momento en el que la temperatura asciende por encima del valor de consigna del termostato, la EV vuelve a abrir y el evaporador recibe refrigerante.

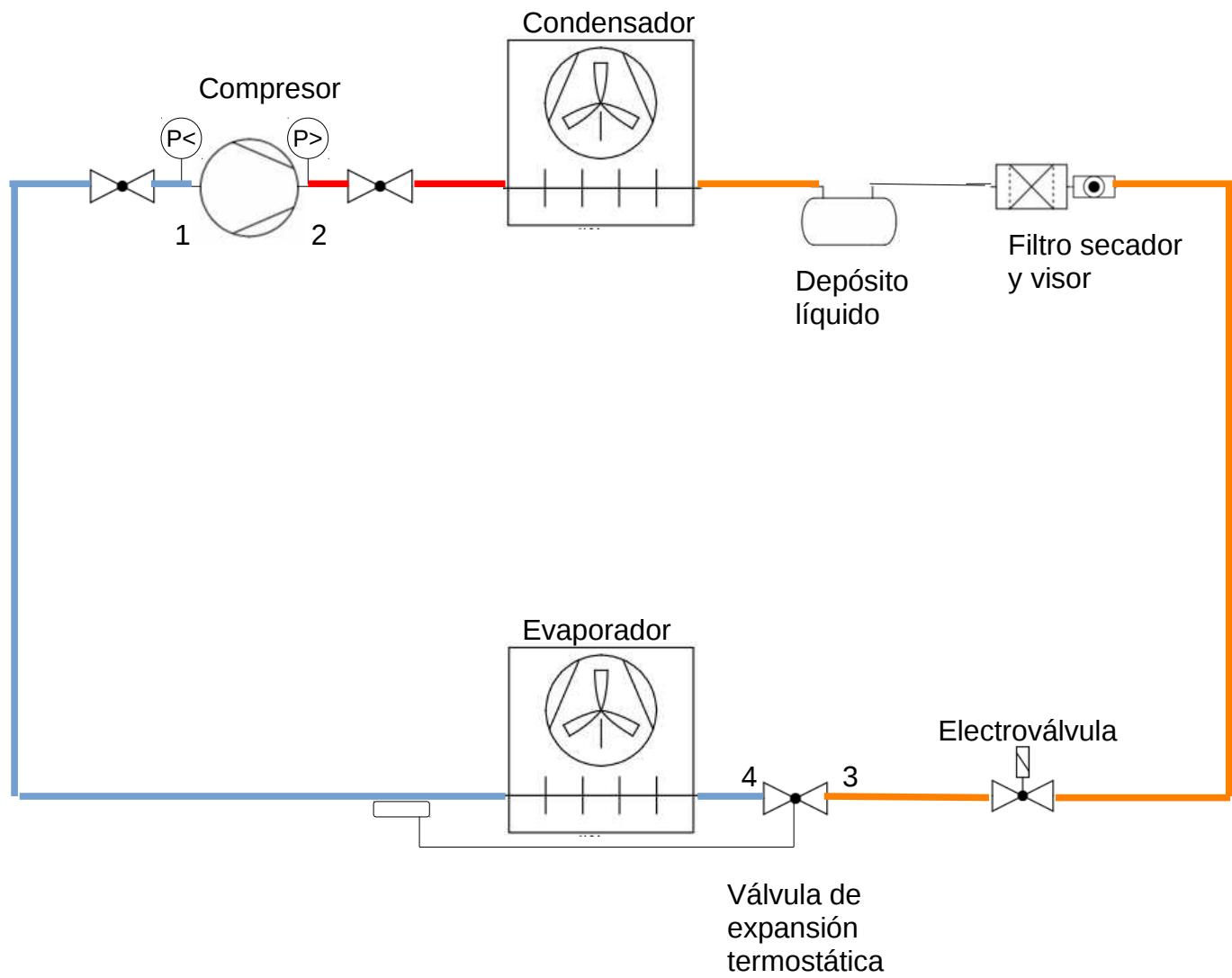
Evaporador

Absorbe el calor del medio a refrigerar mediante la evaporación de un fluido (enfriado).

Tubería de aspiración

Une la salida del evaporador a la entrada (aspiración) del compresor. El medio refrigerante se encuentra en estado de gas a baja presión y temperatura.

La tubería de aspiración se aisla, principalmente para evitar un sobrecalentamiento excesivo del refrigerante. A mayor temperatura del refrigerante en la aspiración, mayor temperatura de descarga. La temperatura de descarga se intenta mantener lo más baja posible. Además, la tubería de aspiración suele estar a temperatura por debajo de la temperatura ambiente, por lo que se produciría condensación de la humedad ambiente en esta tubería, si no estuviera aislada.



1.1.3 Ciclo frigorífico en el diagrama p h

La siguiente imagen presenta un ejemplo de un ciclo frigorífico utilizando como refrigerante R-410a.

A la presión de evaporación relativa de $p_E=8$ bar corresponde una temperatura de evaporación de 4 °C.

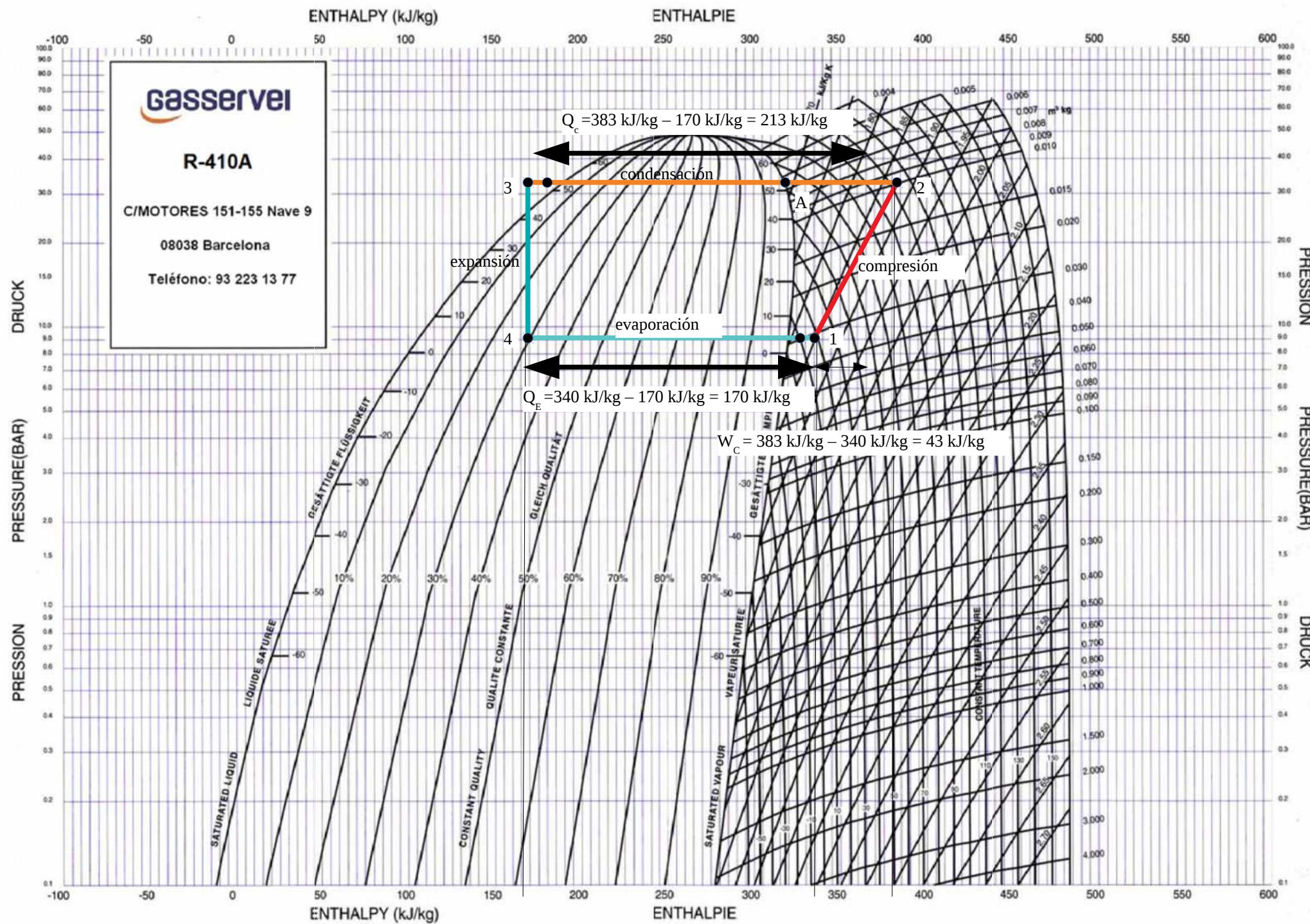
A la presión de condensación relativa de $p_C=32$ bar corresponde una temperatura de condensación 55 °C.

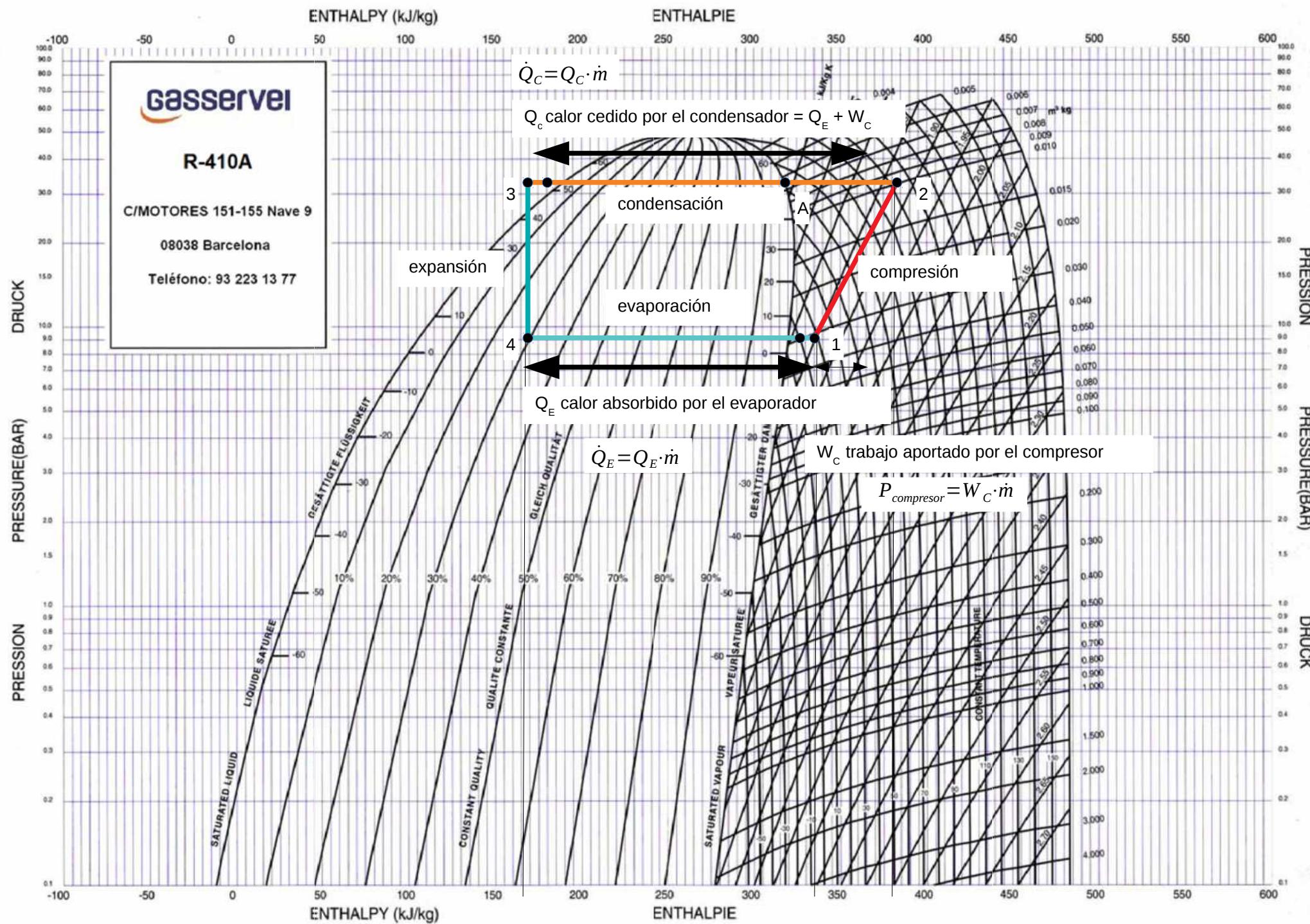
La compresión no es isentrópica, ya que la entropía aumenta ligeramente.

$$\text{El evaporador absorbe el calor de } Q_E = 340 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 170 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 170 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\text{El compresor aporta un trabajo mecánico de } W_C = 383 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 340 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 43 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\text{El condensador cede un calor de } Q_C = 383 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 170 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 213 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$





El EER de este ejemplo es:

$$EER = \frac{Q_E}{W_C} = \frac{170 \frac{kJ}{kg}}{43 \frac{kJ}{kg}} = 4$$

1.1.4 Caudal màsico

El caudal màsico del refrigerante es uno de los parámetros de la instalación frigorífica que influye de manera fundamental en el flujo calorífico que el circuito transporta. El caudal màsico indica la masa de refrigerante que pasa por un punto del circuito en un segundo.

$$\dot{m} = \frac{m}{t} \text{ en } \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Por ejemplo, si para mantener una cámara frigorífica a su temperatura de consigna es necesario que el evaporador absorba un flujo calorífico de $\dot{Q}_E = 3250 \text{ W}$ y tenemos un ciclo en el que el

evaporador absorbe $170 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$, el caudal màsico se calcula:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_E}{Q_E} = \frac{3250 \text{ W}}{170000 \frac{\text{J}}{\text{kg}}} = 0,019 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

1.1.5 EER de un sistema ideal

El ciclo de Carnot describe un sistema ideal y su resultado es la eficiencia máxima que resulta de un ciclo frigorífico ideal:

$$EER_{ideal} = \frac{T_E}{T_C - T_E}$$

siendo

T_C temperatura absoluta de condensación

T_E temperatura absoluta de evaporación

Para el ejemplo anterior con $T_C = 328\text{ K}$ y $T_E = 277\text{ K}$ la eficiencia ideal sería

$$EER_{ideal} = \frac{277\text{ K}}{328\text{ K} - 277\text{ K}} = 5,4$$

Del EER_{ideal} se deduce que, siendo constante la temperatura de condensación, a menor temperatura de evaporación, menor es la eficiencia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Carnot_cycle

1.1.6 Relación de compresión en un sistema frigorífico

En un sistema frigorífico, se entiende por relación de compresión la relación entre presión absoluta de descarga (presión de condesación) y presión absoluta de aspiración (presión de evaporación).

$$R_C = \frac{p_C}{p_E}$$

1.2 Ejercicios ciclo frigorífico

1_3 Ejercicio 1.2-1

Representa en el diagrama de p-h el proceso frigorífico con los siguientes datos:

Refrigerante R-134a

Temperatura de evaporación -3°C

Temperatura de condensación 45 °C

Sobrecalentamiento 10 K

Subenfriamiento 5 K

Potencia frigorífica de la instalación $\dot{Q}_E = 10 \text{ kW}$

Compresión iséntropa.

Calcula:

El caudal mástico del refrigerante \dot{m}

La potencia de compresión P_{comp}

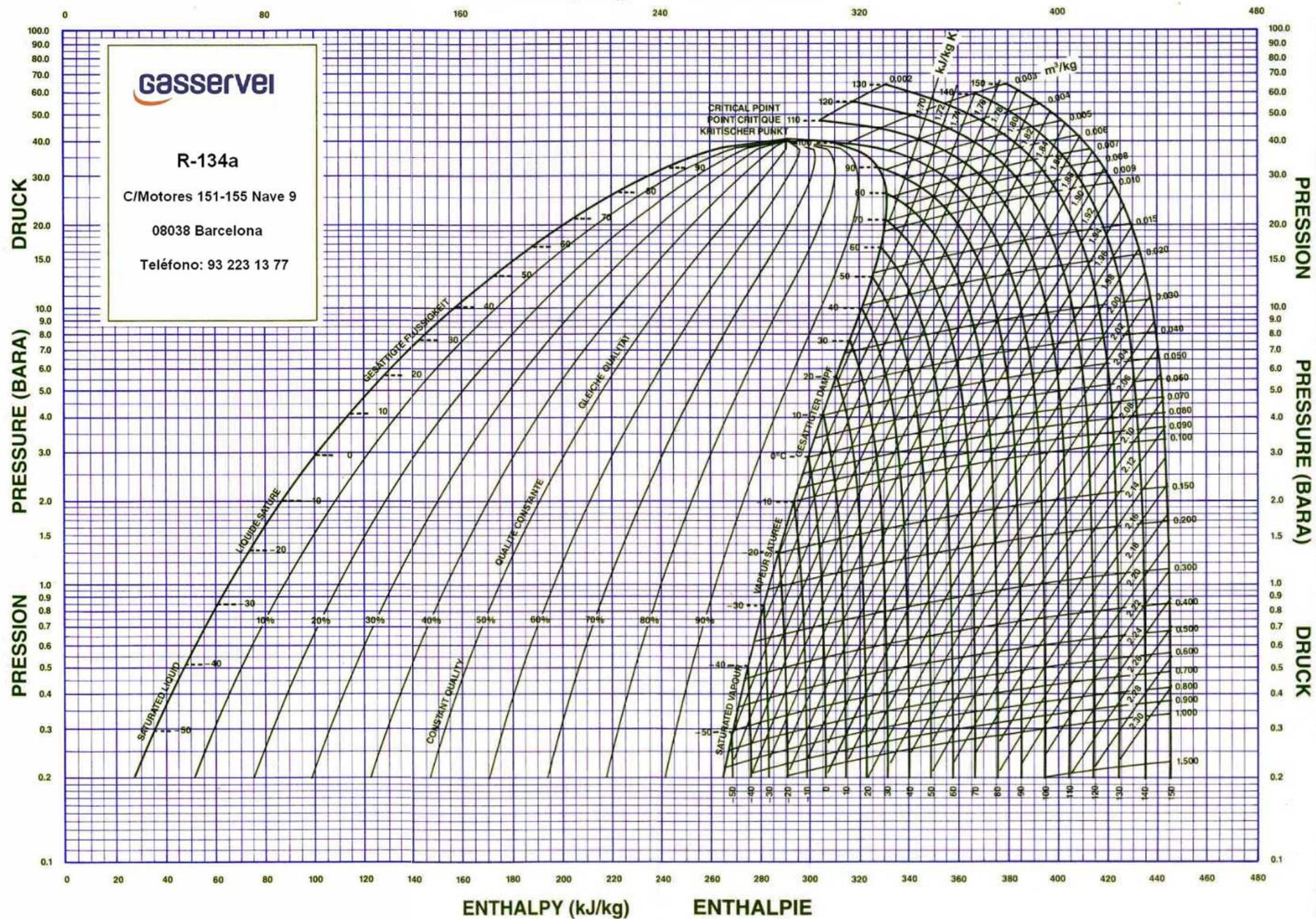
La potencia de condensación \dot{Q}_C

El EER del ciclo y el EER máximo

La relación de compresión R_C

ENTHALPY (kJ/kg)

ENTHALPIE



1_3 Ejercicio 1.2-2

Se tiene una instalación frigorífica de congelación ($v_E = -10^\circ C$) funciona con R-32 (compresión iséntropa).

Calcula la potencia frigorífica de la instalación, sabiendo que la potencia del compresor es de 2,6 CV, la entalpía en la descarga es de 600 kJ/kg, el caudal másico 170 kg/h y el valor de la entalpía en la salida de la válvula de expansión es de 200 kJ/kg.

Calcula el EER del ciclo y el EER máximo.

Representa el ciclo en el diagrama p h.

1_3 Ejercicio 1.2-3

Se tiene una instalación frigorífica con $v_E = 0^\circ C$ funciona con R-32 (compresión iséntropa).

Calcula la potencia frigorífica de la instalación, sabiendo que la potencia del compresor es de 3,3 CV, la entalpía en la descarga es de 585 kJ/kg, el caudal másico 200 kg/h y el valor de la entalpía en la salida de la válvula de expansión es de 250 kJ/kg.

Calcula el EER del ciclo y el EER máximo.

Representa el ciclo en el diagrama p h.

Indica el sobrecaleamiento y el subenfriamiento.

1_3 Ejercicio 1.2-4

En una instalación frigorífica de R-32 (compresión iséntropa), tenemos una temperatura en la entrada de la válvula de expansión de 25 °C, la potencia frigorífica es de 33,2 kW y el caudal másico de 7,14 kg/min.

La presión de condensación es de 40 bar.

Indica el recalentamiento y la temperatura a la salida de la válvula de expansión sabiendo que la temperatura de descarga del compresor es de 110 °C.

Indica el subenfriamiento del refrigerante líquido antes de la válvula de expansión.

Indica la presión de evaporación.

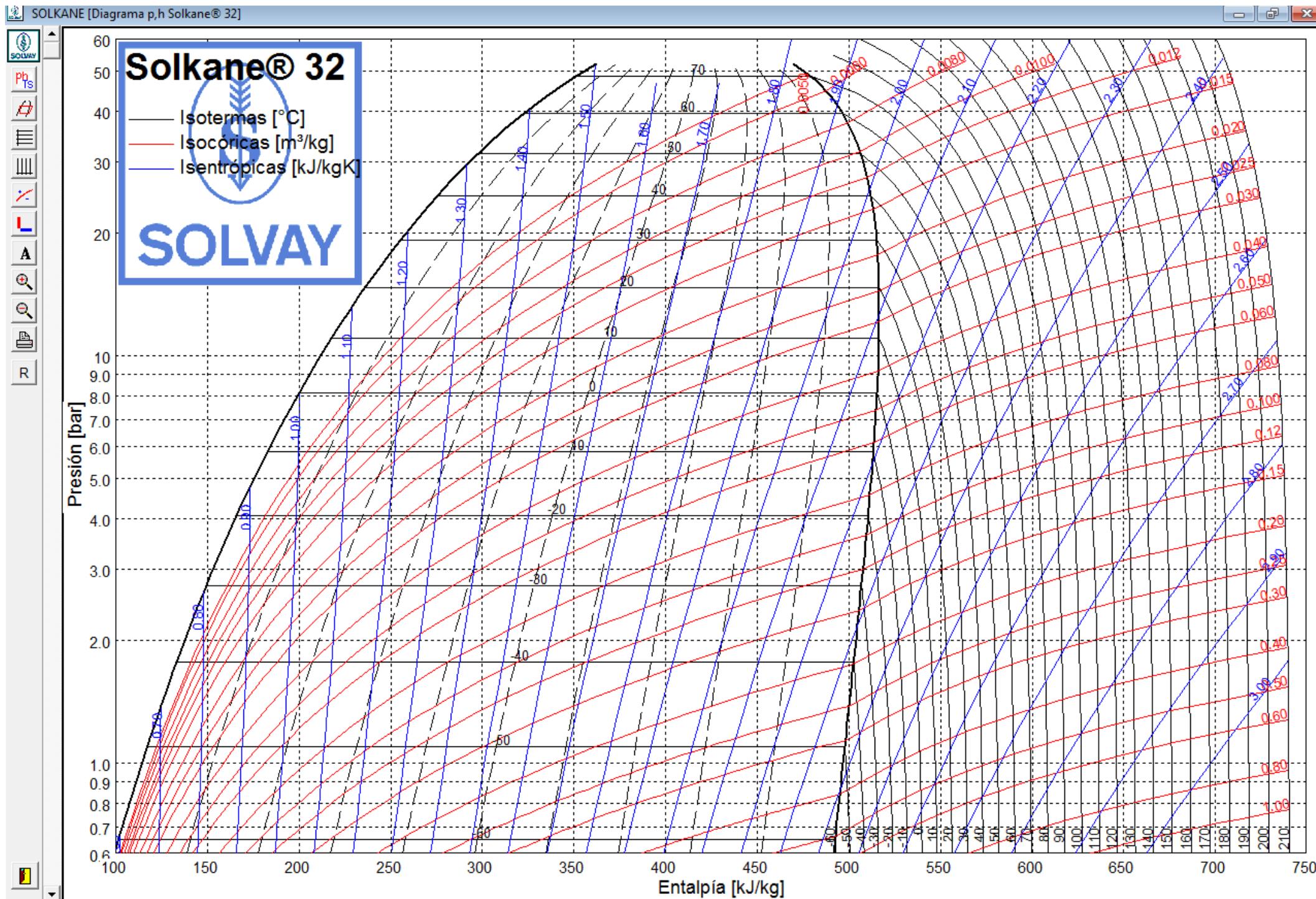
Calcula eficiencia del ciclo y la eficiencia máxima.

1_3 Ejercicio 1.2-5

Calcula la eficiencia de una instalación frigorífica de congelación que funciona con refrigerante R-32, sabiendo que la presión de baja es de 4 bar (presión manométrica), el recalentamiento de 15 K, el subenfriamiento de 5 K, la potencia del compresor de 10,3 CV (compresión iséntropa) y el caudal másico de 428,42 kg/h.

Representa el ciclo en el diagrama p h.

Calcula la eficiencia máxima.



1_3 Ejercicio 1.2-6

En el siguiente diagrama está marcado un ciclo frigorífico.

El caudal de masa es de $150 \frac{kg}{h}$.

Indica

Sobrecalentamiento

Subenfriamiento

Presiones p_E y p_C

Temperaturas v_E y v_C

Calor absorbido en el evaporador Q_E

Potencia frigorífica \dot{Q}_E

Calor cedido en el condensador Q_C

Trabajo aportado por el compresor W_C

Portencia del compresor $P_{compresor}$

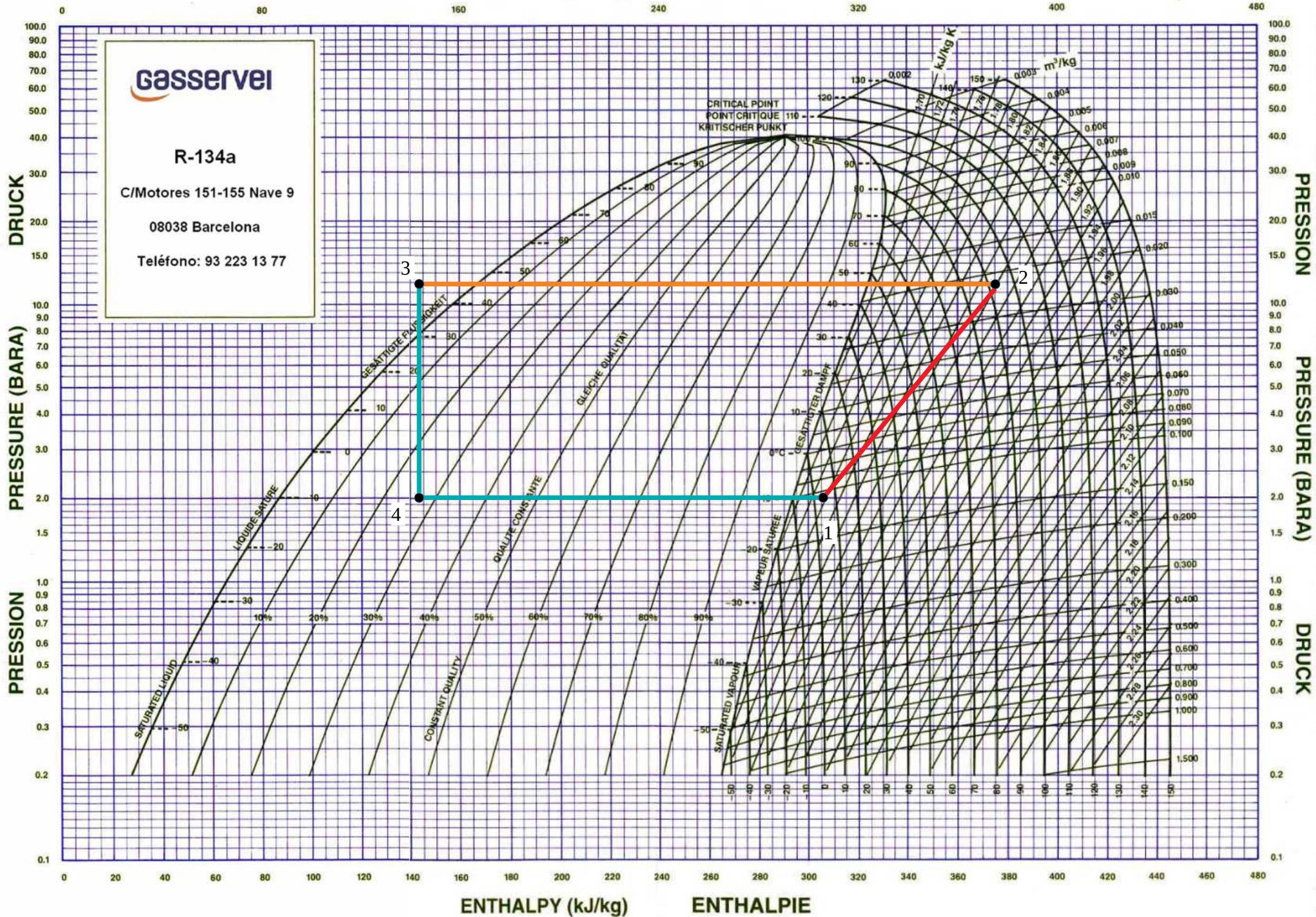
Porcentaje de refrigerante líquido tras la expansión

EER del ciclo y máximo.

Velocidad del gas refrigerante en la tubería de descarga de 20 mm de diámetro interior.

ENTHALPY (kJ/kg)

ENTHALPIE



1.3 Influencia del sobrecalentamiento y subenfriamiento en la eficiencia y el compresor

Un intercambiador de calor entre el refrigerante líquido antes de llegar a la válvula de expansión y el gas procedente del evaporador, permite aumentar el subenfriamiento del líquido y el sobrecalentamiento del gas.

Al aumentar el subenfriamiento del refrigerante líquido antes de llegar a la válvula de expansión, aumenta la proporción de refrigerante líquido después de la expansión. Este aumento de líquido en el evaporador permite absorber más calor, es decir, aumentar Q_E , sin influir en el trabajo del compresor W_C . Por tanto, la eficiencia de la instalación aumenta.

El sobrecaleamiento incide de forma negativa sobre la eficiencia de la instalación, ya que a mayor temperatura del gas, mayor es su volumen específico y menor su densidad. A velocidad de rotación constante, el caudal volumétrico del compresor es fijo. Esto significa que a menor densidad y caudal volumétrico fijo, menor es el caudal de masa del refrigerante y por tanto, menor el calor que transporta el circuito frigorífico.

Además, a mayor temperatura del gas aspirado, mayor es la temperatura de descarga. Una temperatura de descarga excesivamente alta causa la descomposición del refrigerante, que se queme el aceite, se produzcan ácidos y se deposite cobre en los cilindros (cobreado).

Una de las razones para aislar térmicamente la tubería de aspiración entre el evaporador y el compresor, es reducir al mínimo la absorción de calor fuera de la cámara frigorífica y limitar el sobrecaleamiento del gas refrigerante.

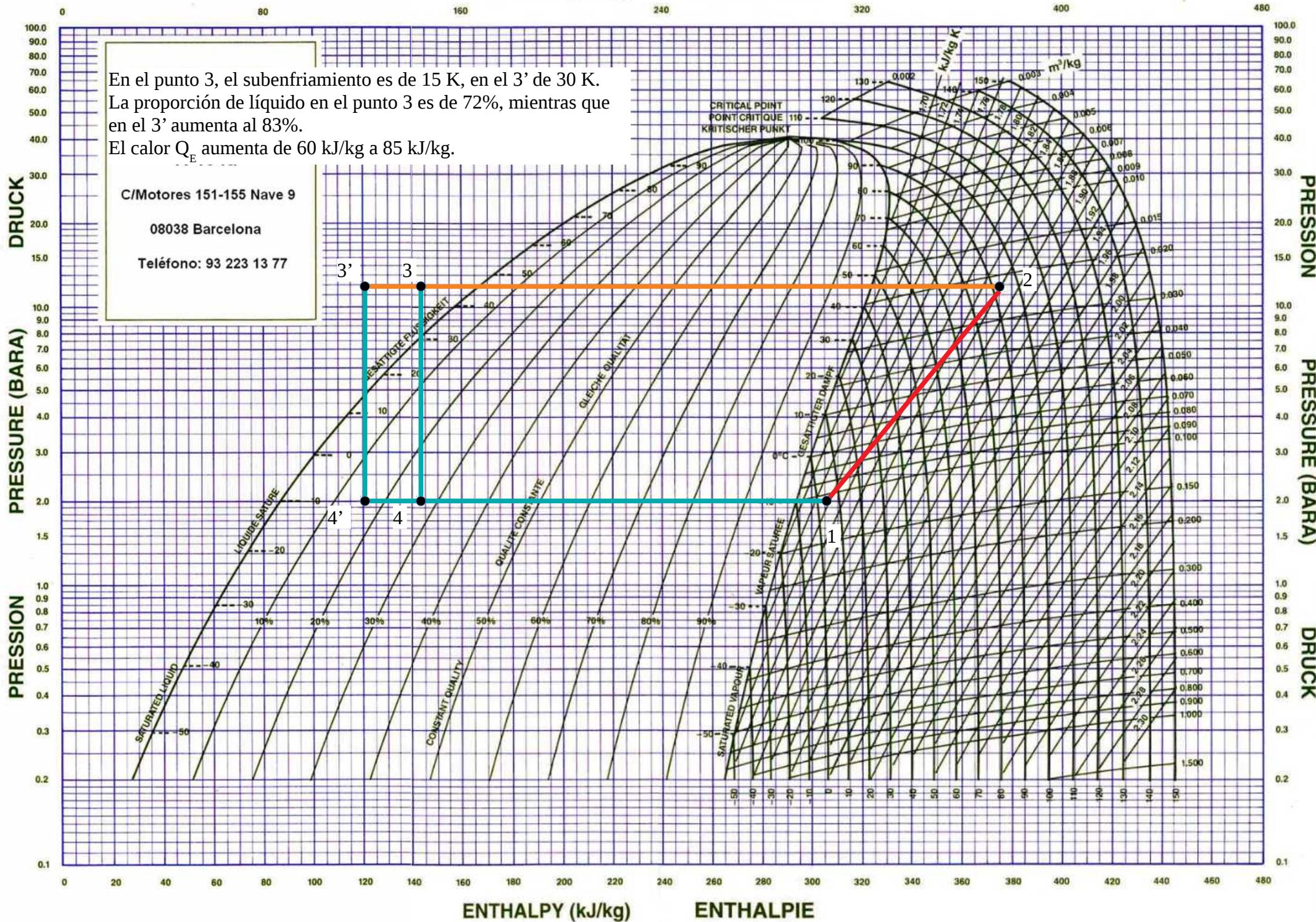
Sin embargo, sobreentalentar el refrigerante tiene ciertas ventajas, por ejemplo reduce el riesgo de que al compresor le llegue refrigerante líquido, y se produzca una avería por golpe de líquido en el compresor.

<http://bohnmxico.blogspot.com/2017/05/cobrizado-en-el-interior-de-los.html>

<https://www.dk-kaelteanlagen.de/produkte/dk-sauggas-waermetauscher/>

ENTHALPY (kJ/kg)

ENTHALPIE

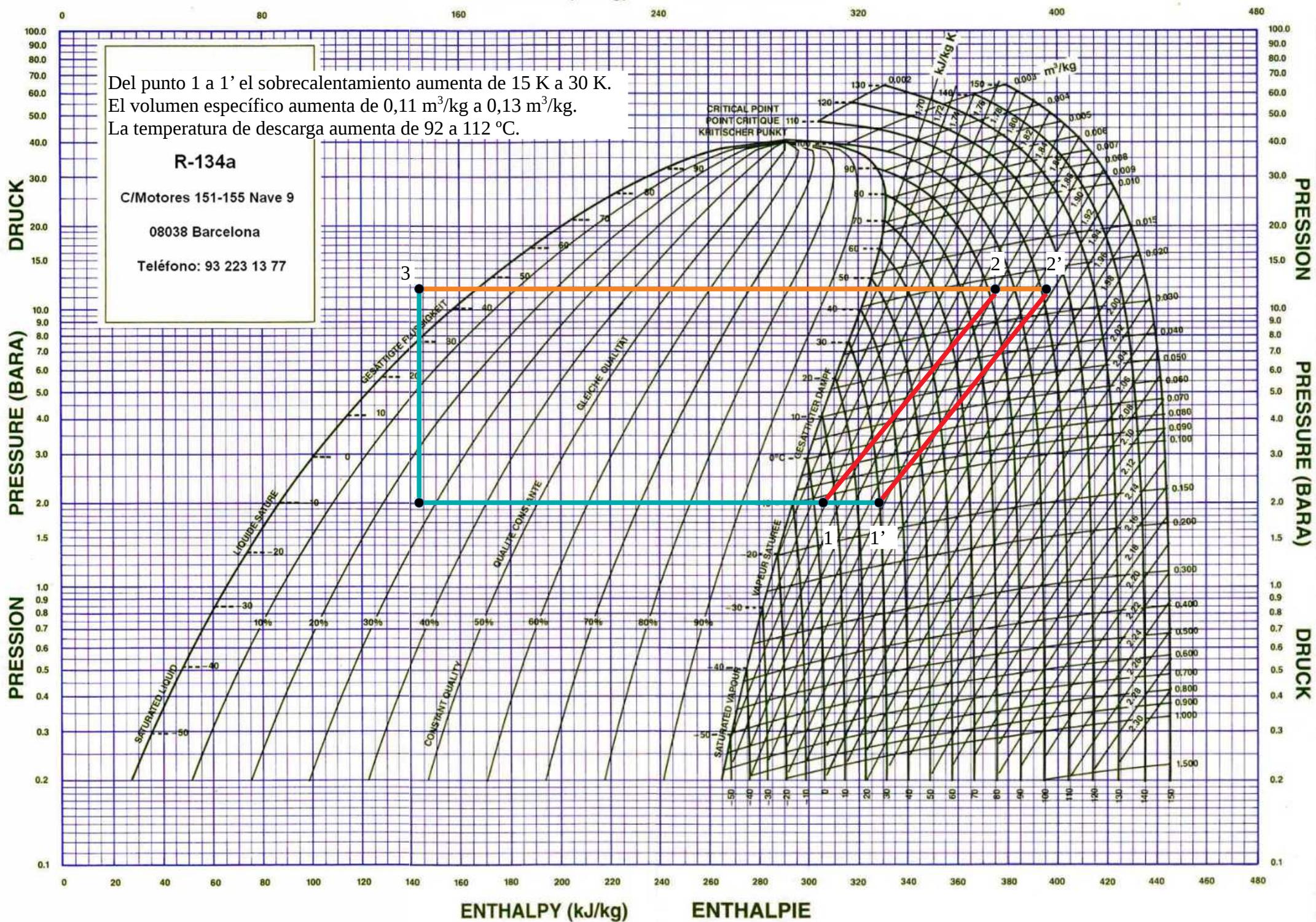


En el punto 3, el subenfriamiento es de 15 K, en el 3' de 30 K. La proporción de líquido en el punto 3 es de 72%, mientras que en el 3' aumenta al 83%.

El calor Q_E aumenta de 60 kJ/kg a 85 kJ/kg.

ENTHALPY (kJ/kg)

ENTHALPIE



1_3 Ejercicio 1.3-1

Explica como influyen el subenfriamiento y el sobrecalentamiento en la eficiencia del ciclo.

1.4 Puntos de medición de temperatura y presión

En una instalación frigorífica las mediciones en los siguientes puntos son de especial importancia:

a) Presión de evaporación

Se mide en una toma de la tubería de aspiración.

De la presión de evaporación se deduce la temperatura de evaporación.

b) Presión de condensación

Se mide en una toma de la tubería de descarga del compresor.

De la presión de condensación se deduce la temperatura de condensación.

c) Temperatura del refrigerante a la entrada de la expansión

Se mide justo antes de la válvula de expansión.

d) Temperatura del refrigerante a la salida del recinto refrigerado (t_o).

Se mide en la tubería de aspiración en el lugar en donde sale del recinto refrigerado.

Indica el sobrecalentamiento útil del refrigerante.

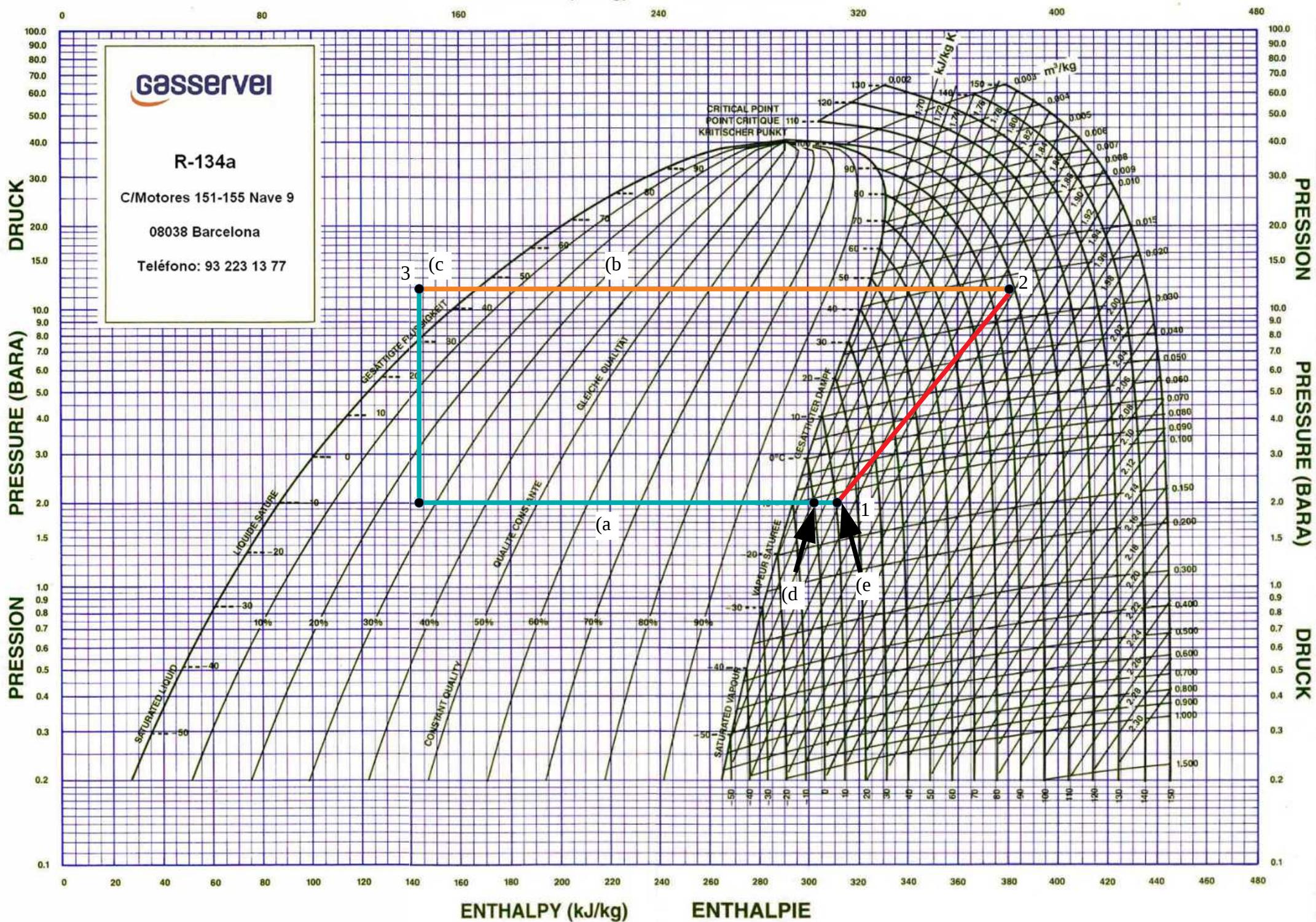
e) Temperatura del refrigerante en la toma de aspiración del compresor(t_{oh}).

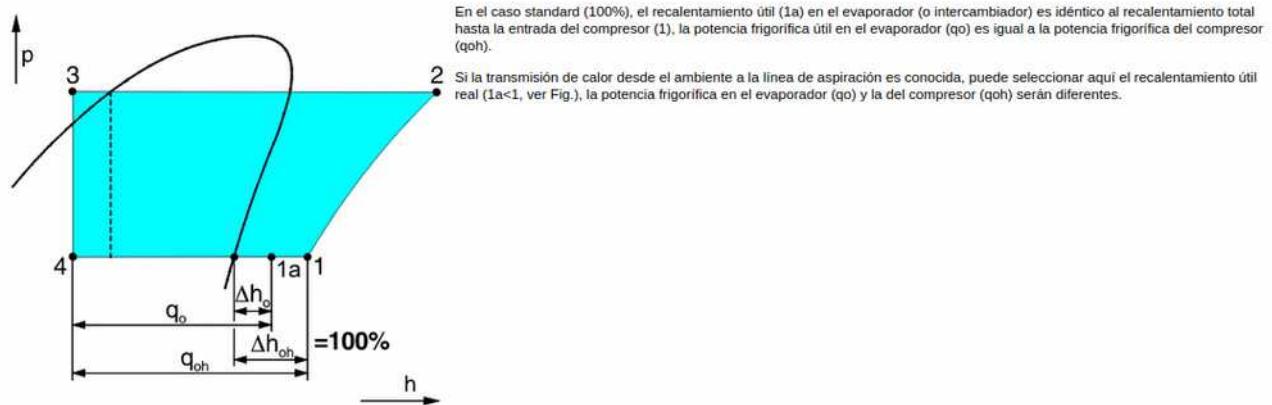
Se mide en la tubería de aspiración en la toma de aspiración del compresor.

Indica el sobrecalentamiento total del refrigerante.

ENTHALPY (kJ/kg)

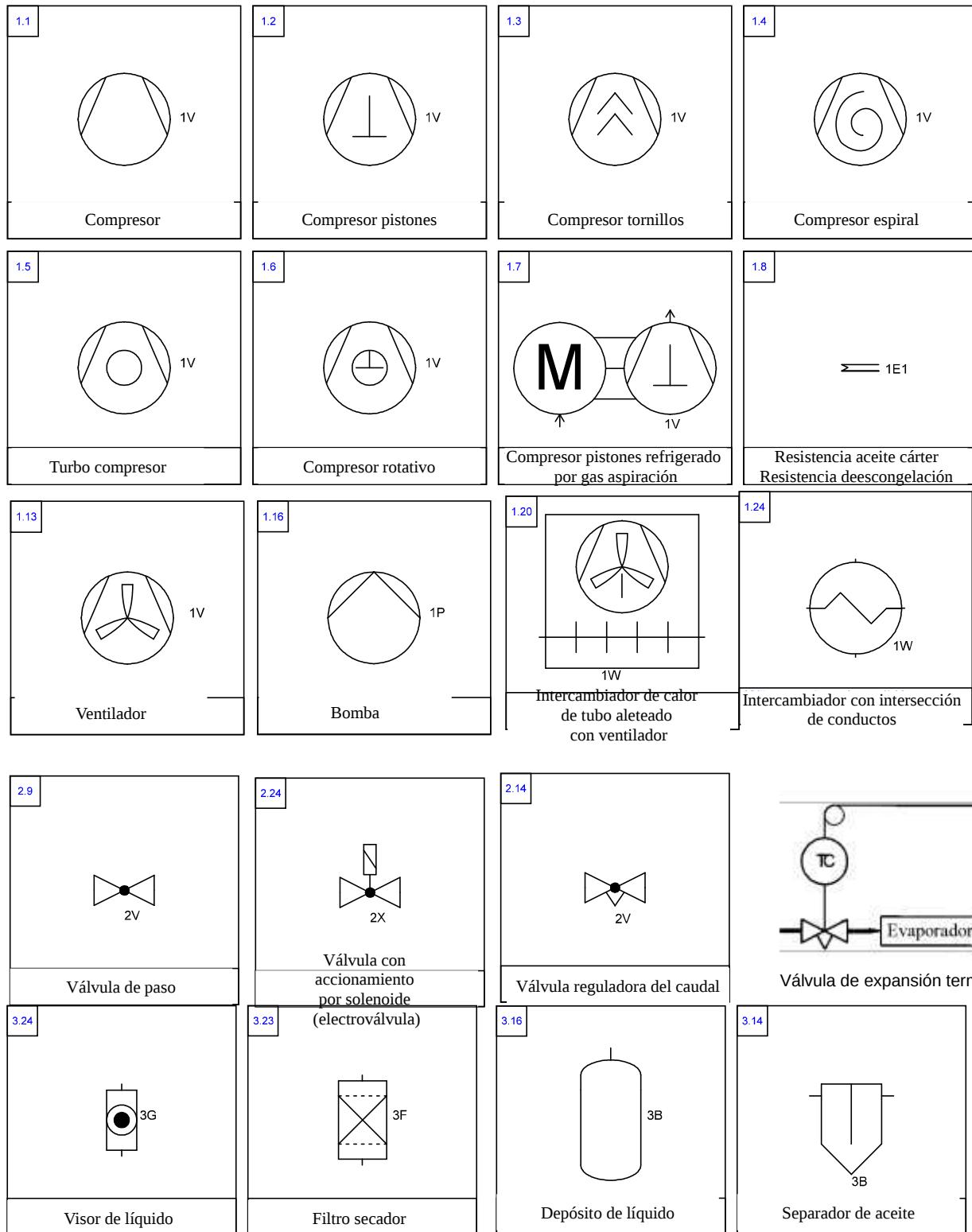
ENTHALPIE





<https://www.bitzer.de/websoftware/Calculate.aspx?cid=1666546491573&mod=HHK>

1.5 Símbolos según UNE EN 1861



1.6 Soluciones

Ejercicio 1.2-4

En una instalación frigorífica de R-32 (compresión iséntropa), tenemos una temperatura en la entrada de la válvula de expansión de 25 °C, la potencia frigorífica es de 33,2 kW y el caudal masico de 7,14 kg/min.

La presión de condensación es de 40 bar.

Indica el recalentamiento y la temperatura a la salida de la válvula de expansión sabiendo que la temperatura de descarga del compresor es de 110 °C.

Indica el subenfriamiento del refrigerante líquido antes de la válvula de expansión.

Indica la presión de evaporación.

Calcula eficiencia del ciclo y la eficiencia máxima.

$$\dot{m} = 7,14 \frac{\text{kg}}{\text{min}} = 0,119 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$Q_E = \frac{\dot{Q}_E}{\dot{m}} = \frac{33,2 \text{ kW}}{0,119 \frac{\text{kg}}{\text{s}}} = 279 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_{3/4} = 240 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_1 = h_{3/4} + Q_E = 240 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 279 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 519 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_2 = 585 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Temperatura de evaporación $v_E = -2^\circ\text{C}$

Temperatura de aspiración $v_1 = -2^\circ\text{C}$

$$\text{Recalentamiento} = \text{Sobrecalentamiento} = SC = v_1 - v_E = 0 \text{ K}$$

Temperatura de salida de la válvula de expansión $v_4 = v_E = -2^\circ\text{C}$

La temperatura del refrigerante a la salida de la válvula de expansión, siempre es la temperatura de evaporación.

Temperatura de condensación $v_C = 62^\circ\text{C}$

Temperatura a la entrada de la válvula de expansión $v_3=23^{\circ}\text{C}$

$$\text{Subenfriamiento} = SE = v_C - v_3 = 62^{\circ}\text{C} - 23^{\circ}\text{C} = 39\text{ K}$$

Presión de evaporación $p_E = 7,5 \text{ bar}$

SOLKANE [Diagrama p,h Solkane® 32]

