

# **PROGRAMA DE FORMACIÓN DE GESTORES ENERGÉTICOS EN INDUSTRIAS**

*Provincia de Santa Fe 2018*

## **MÓDULO V**

# **SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL**



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# V | SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL

## **CONTENIDOS**

### **V.1. CICLOS DE REFRIGERACIÓN**

Ciclo invertido de Carnot. Ciclo Ideal y Ciclo Real. Ejemplos.

### **V.2. SELECCIÓN DEL REFRIGERANTE SEGÚN SUS CUALIDADES**

### **V.3. SISTEMAS INDUSTRIALES DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR**

Simple y Doble Etapa. Ejemplos.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# V | SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL

## **CONTENIDOS**

### **V.4. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN**

Compresores. Separadores. Enfriadores. Condensadores: Evaporativos y Casco - Tubo con Torres. Recibidor de Líquido. Enfriador Intermedio. Evaporadores: Ventilados y de Placas

### **V.5. BUENAS PRÁCTICAS EN REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL**

### **V.6. AIRE ACONDICIONADO - CHILLERS**



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## **REFRIGERACIÓN**

Una de las principales áreas de aplicación de la termodinámica es la **refrigeración**, que es la transferencia de calor de una región de temperatura inferior hacia una temperatura superior.

Los ciclos en los que operan se denominan **ciclos de refrigeración**. El ciclo de refrigeración que se utiliza con más frecuencia es por **compresión de vapor**, donde el refrigerante se evapora y se condensa alternadamente, para luego comprimirse en la fase de vapor.

La transferencia de calor de una región de temperatura baja a otra de alta temperatura requiere dispositivos especiales llamados **refrigeradores**.

Los fluidos de trabajo utilizados en los ciclos de refrigeración se llaman **refrigerantes**.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



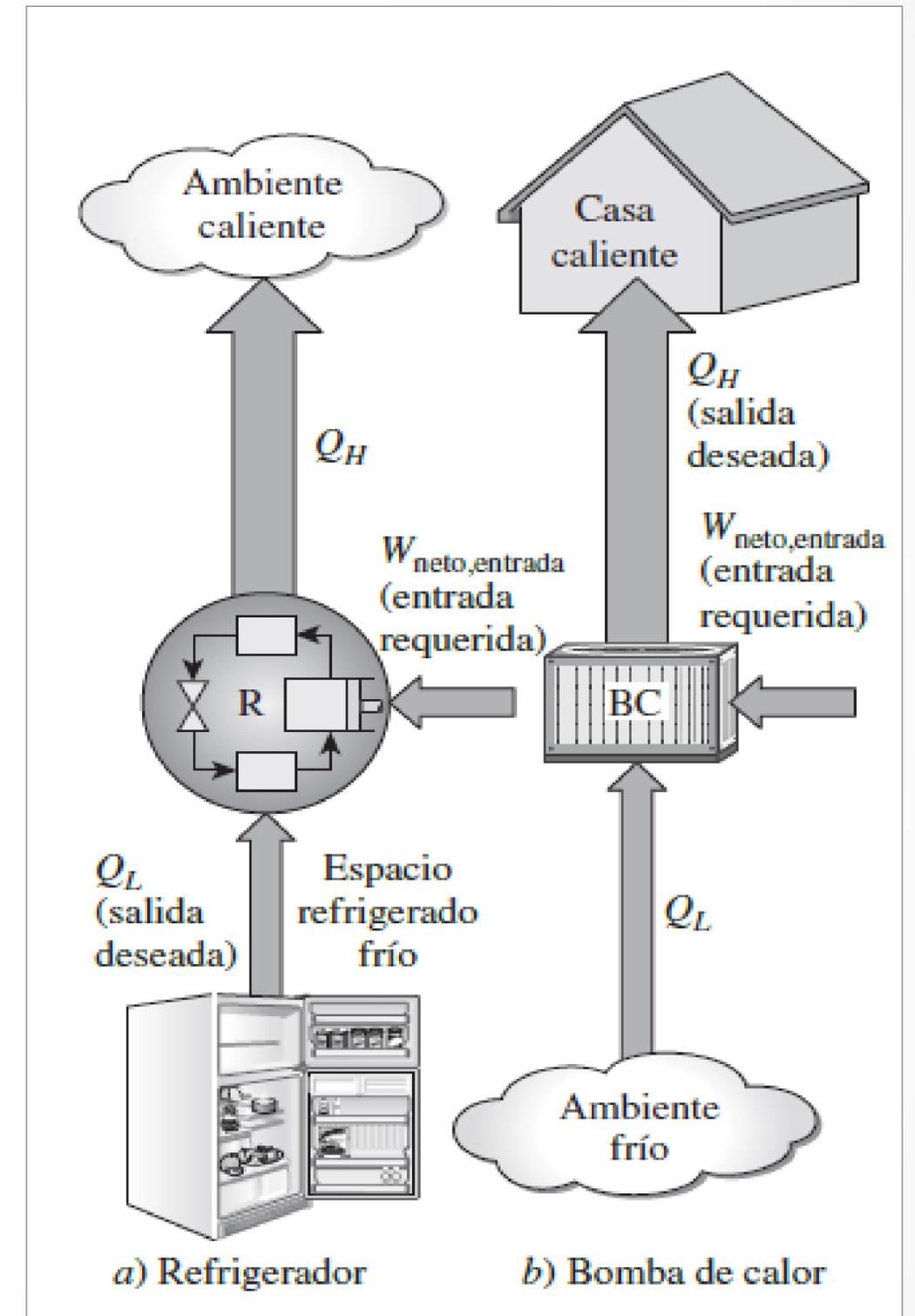
# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## REFRIGERACIÓN

En la figura a se muestra esquemáticamente un refrigerador.

- ✓  $Q_L$  es la magnitud del **calor extraído** del espacio refrigerado a la temperatura  $T_L$
- ✓  $Q_H$  es la magnitud del **calor rechazado** al espacio caliente a temperatura  $T_H$
- ✓  $W$  neto entrada, es la **entrada neta de trabajo** al refrigerador.

$Q_L$  y  $Q_H$  representan magnitudes, y por ello son cantidades positivas.



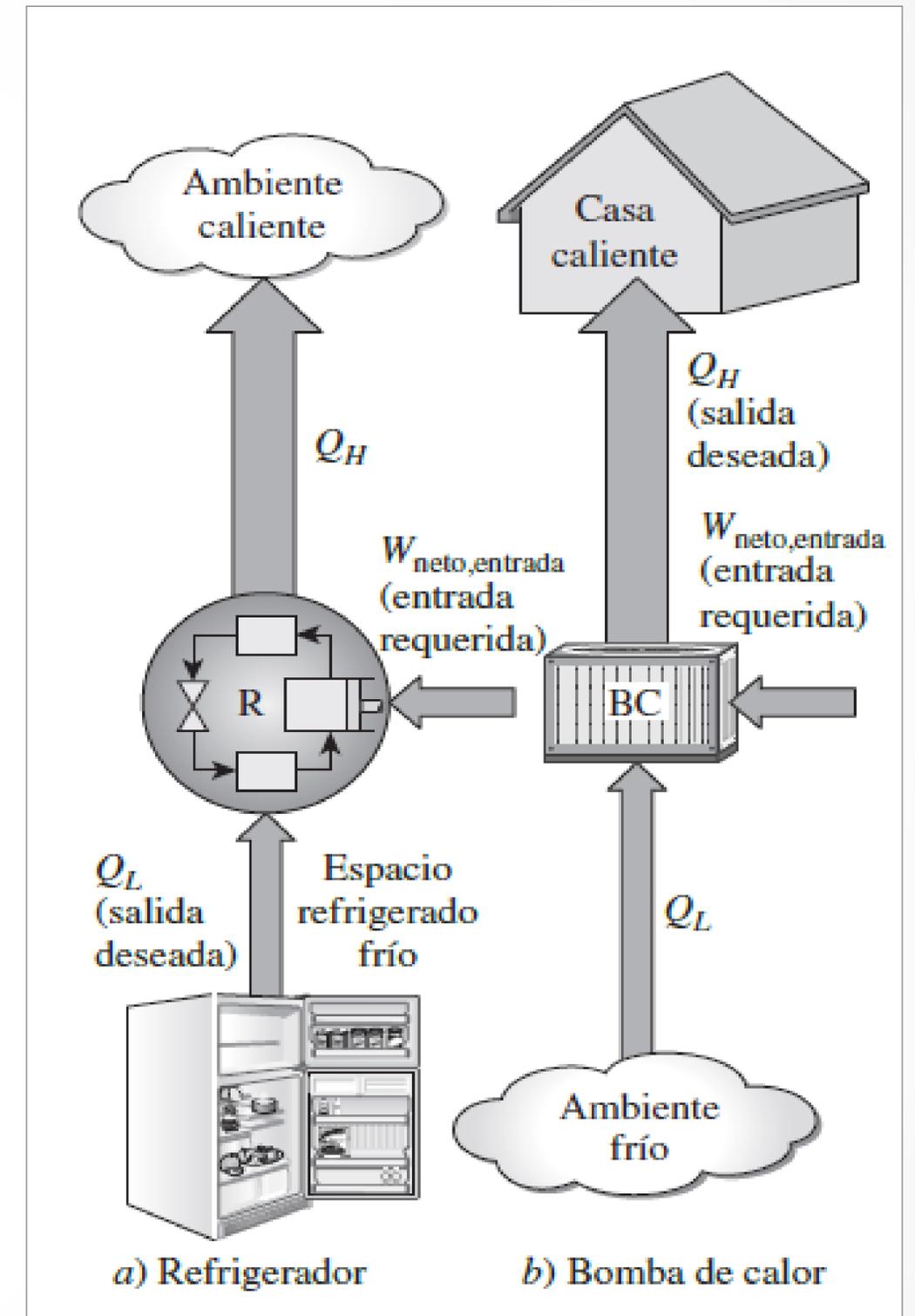
# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## REFRIGERACIÓN

Otro dispositivo que transfiere calor de un medio de *baja temperatura a uno de alta temperatura* es la **bomba de calor**.

Los refrigeradores y las bombas de calor son esencialmente **lo mismo**.

El objetivo de un refrigerador es *enfriar un espacio u objeto extrayendo el calor de él*. Transferir el calor a un medio de temperatura alta es una parte necesaria de la operación. El objetivo de la bomba de calor es *calentar un espacio elevando su temperatura*, figura b.



# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

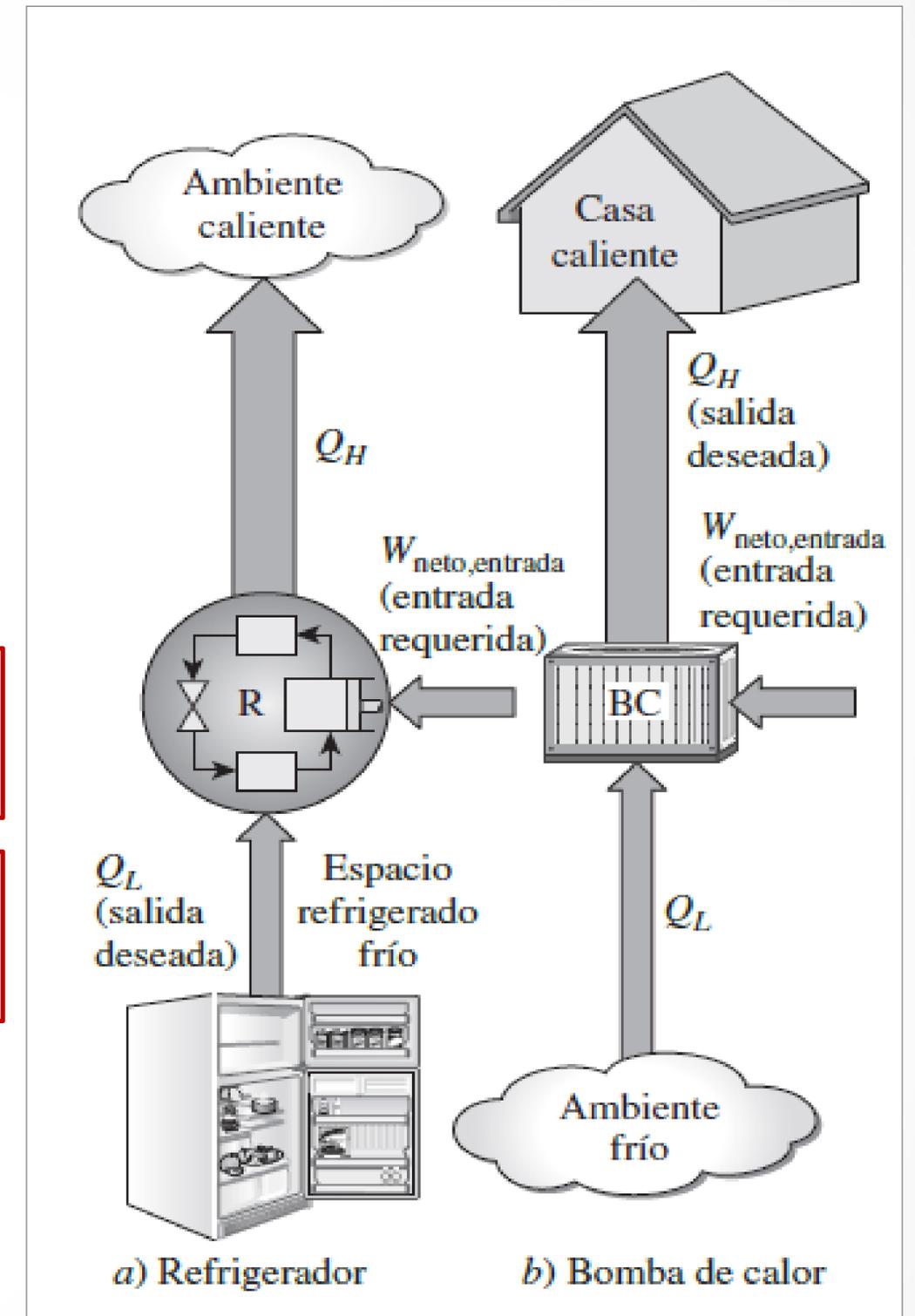
## REFRIGERACIÓN

La performance de los refrigeradores y de las bombas de calor se expresa con el **Coeficiente de Performance (COP)**, por sus siglas en inglés, definido como:

$$(1) \quad COP_R = \frac{\text{Salida deseada}}{\text{Entrada requerida}} = \frac{\text{Efecto de enfriamiento}}{\text{Entrada de trabajo}} = \frac{Q_L}{W_{\text{neto,entrada}}}$$

$$(2) \quad COP_{BC} = \frac{\text{Salida deseada}}{\text{Entrada requerida}} = \frac{\text{Efecto de calentamiento}}{\text{Entrada de trabajo}} = \frac{Q_H}{W_{\text{neto,entrada}}}$$

Tanto  $COP_R$  como  $COP_{BC}$  pueden ser mayores que 1.



# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## REFRIGERACIÓN

Expresado como tasa, sustituyendo  $Q_L$ ,  $Q_H$  y  $W_{\text{neto}}$ , entrada por  $Q_L(t)$ ,  $Q_H(t)$ , y  $W_{\text{neto}}(t)$  (con respecto al tiempo). Comparando las ecuaciones 1 y 2 vemos que  $\text{COP}_{\text{BC}} = \text{COP}_R + 1$  para valores fijos de  $Q_L$  y  $Q_H$ . Esto implica que  $\text{COP}_{\text{BC}} > 1$  puesto que  $\text{COP}_R$  es una cantidad positiva.

En el peor de los casos, una bomba de calor funciona, como un calentador de resistencia, que suministra a la casa la misma cantidad de energía que consume. En realidad, sin embargo, parte de  $Q_H$  se pierde en el aire exterior por las tuberías y otros dispositivos, y  $\text{COP}_{\text{BC}}$  puede caer por debajo de 1 cuando la temperatura del aire exterior es muy baja. Cuando esto pasa, el sistema normalmente se cambia a un modo de quema de combustible (gas natural, propano, petróleo, etc.) o de calentamiento por resistencia.



# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## REFRIGERACIÓN

Se denomina “**carga de un sistema de refrigeración**” a la capacidad de enfriamiento del mismo, *y es la cantidad de calor extraído del espacio refrigerado*, se expresa en términos de **Toneladas de Refrigeración (TR)**. Se define como:

“La capacidad de un sistema de refrigeración que puede transformar 1 tonelada de agua líquida a 0 °C (32 °F) a hielo a 0 °C en 24 horas será 1 TR”.

Una tonelada de refrigeración es equivalente a 211 kJ/min=3.52 kW.

La carga de una vivienda de 200 m<sup>2</sup> está en el intervalo de 3 TR (10 kW).



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



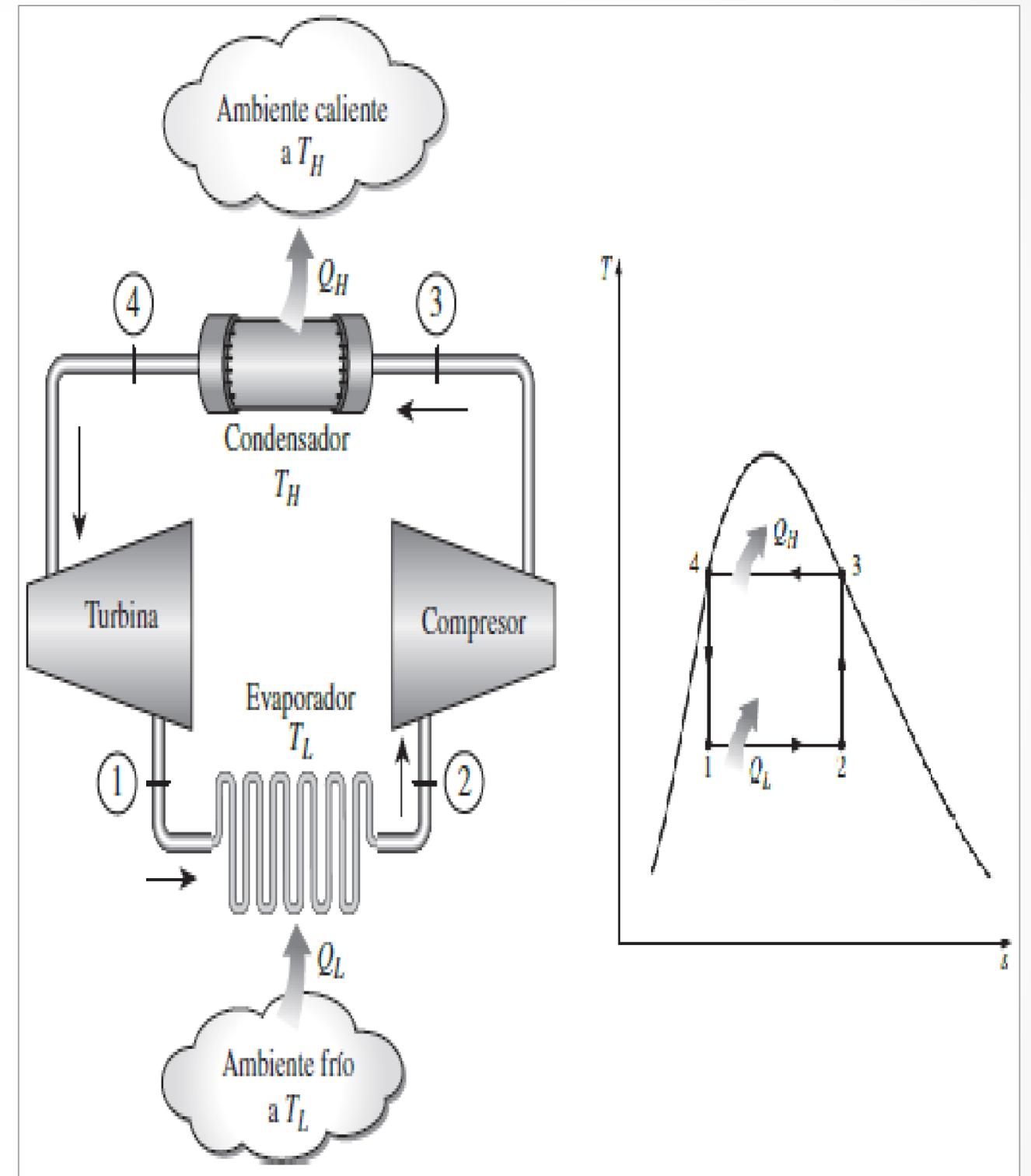
Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## **CICLO INVERTIDO DE CARNOT**

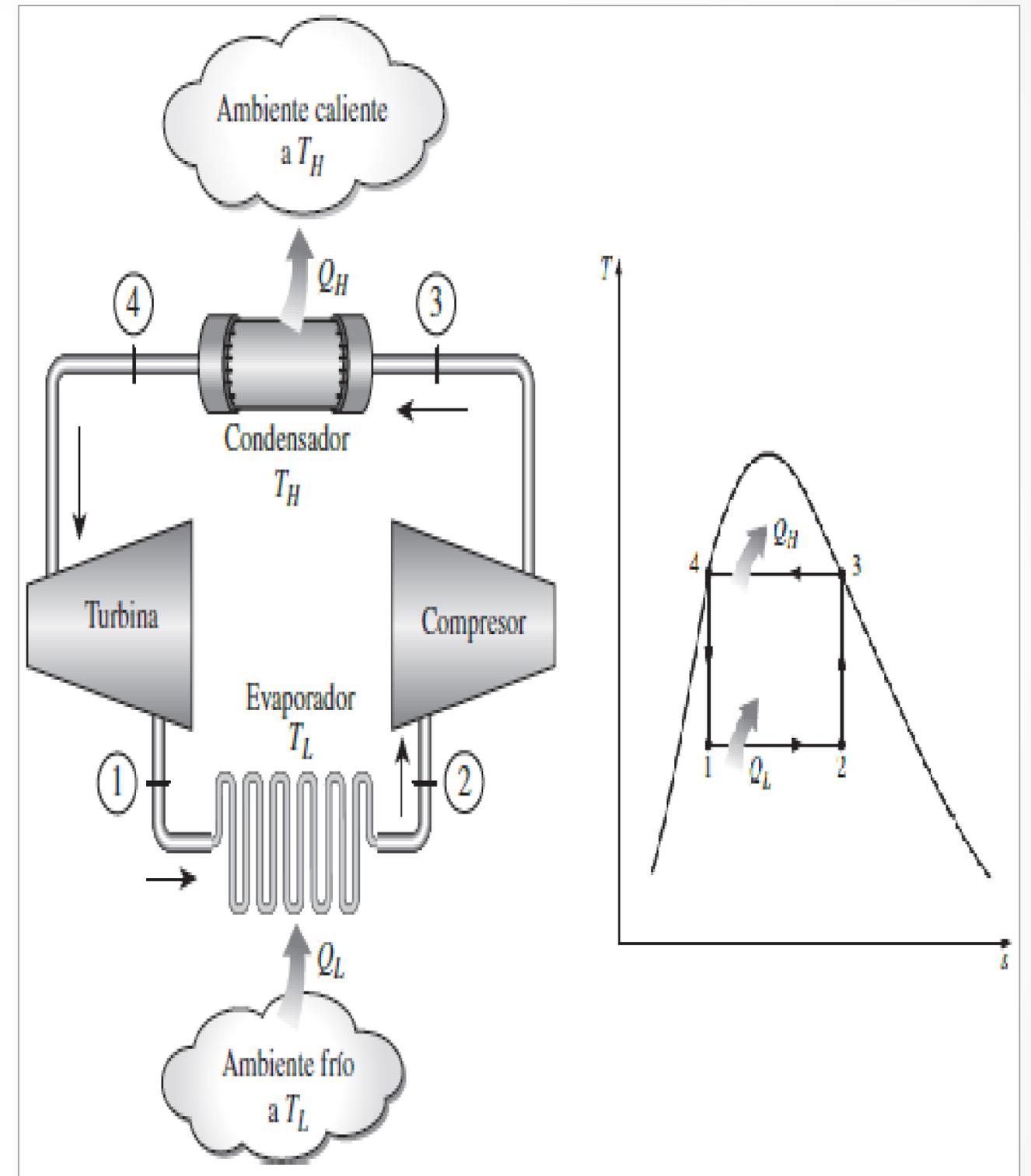
El ciclo de Carnot es un ciclo **totalmente reversible** compuesto de dos procesos **isotérmicos** y de dos procesos **isoentrópicos reversibles**. Tiene la **máxima eficiencia térmica** (para determinados límites de temperatura) siendo el estándar con el que se comparan los ciclos de potencia reales.



# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## CICLO INVERTIDO DE CARNOT

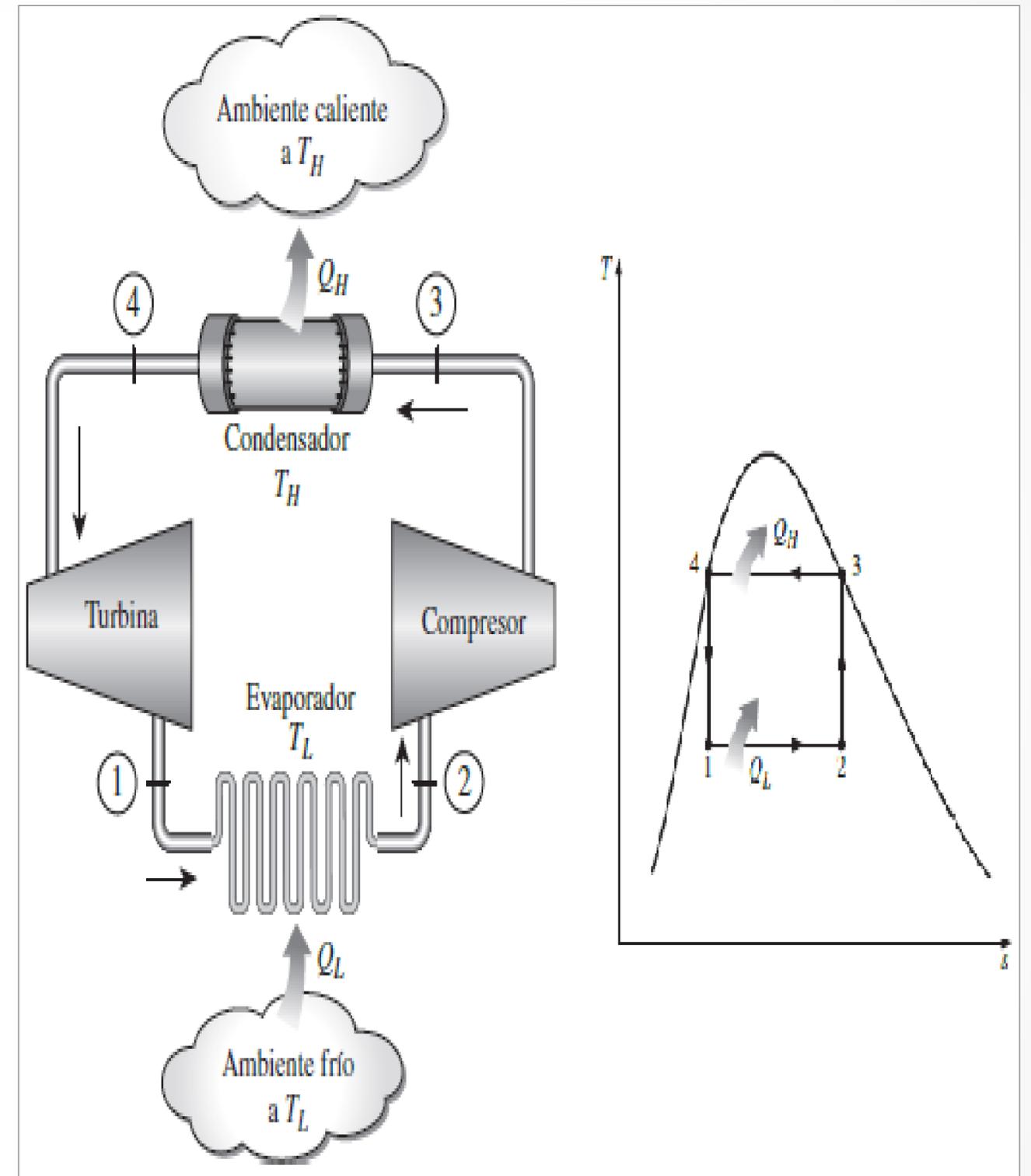
Al ser un ciclo reversible, **los cuatro procesos intervinientes pueden invertirse**. Con ello, también se invertirán las direcciones de cualquier interacción de **calor y de trabajo**. Resultando en un ciclo que opera en dirección contraria a las manecillas del reloj en el diagrama T-s, que se llama el **Ciclo invertido de Carnot**.



# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## CICLO INVERTIDO DE CARNOT

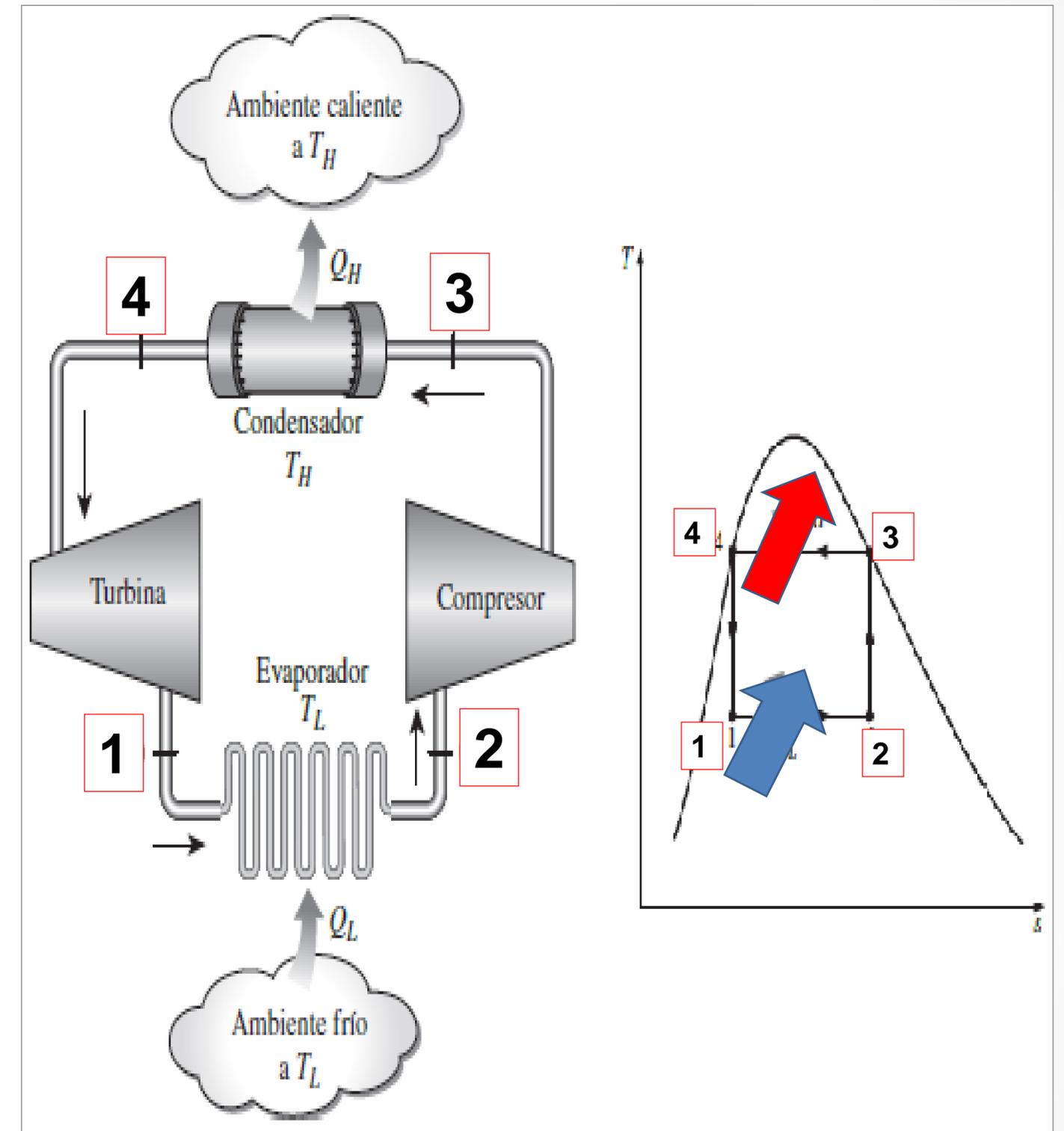
Un **refrigerador o bomba de calor** operando en ciclo invertido de Carnot es definido como un refrigerador de Carnot o una bomba de calor de Carnot.



# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## **CICLO INVERTIDO DE CARNOT**

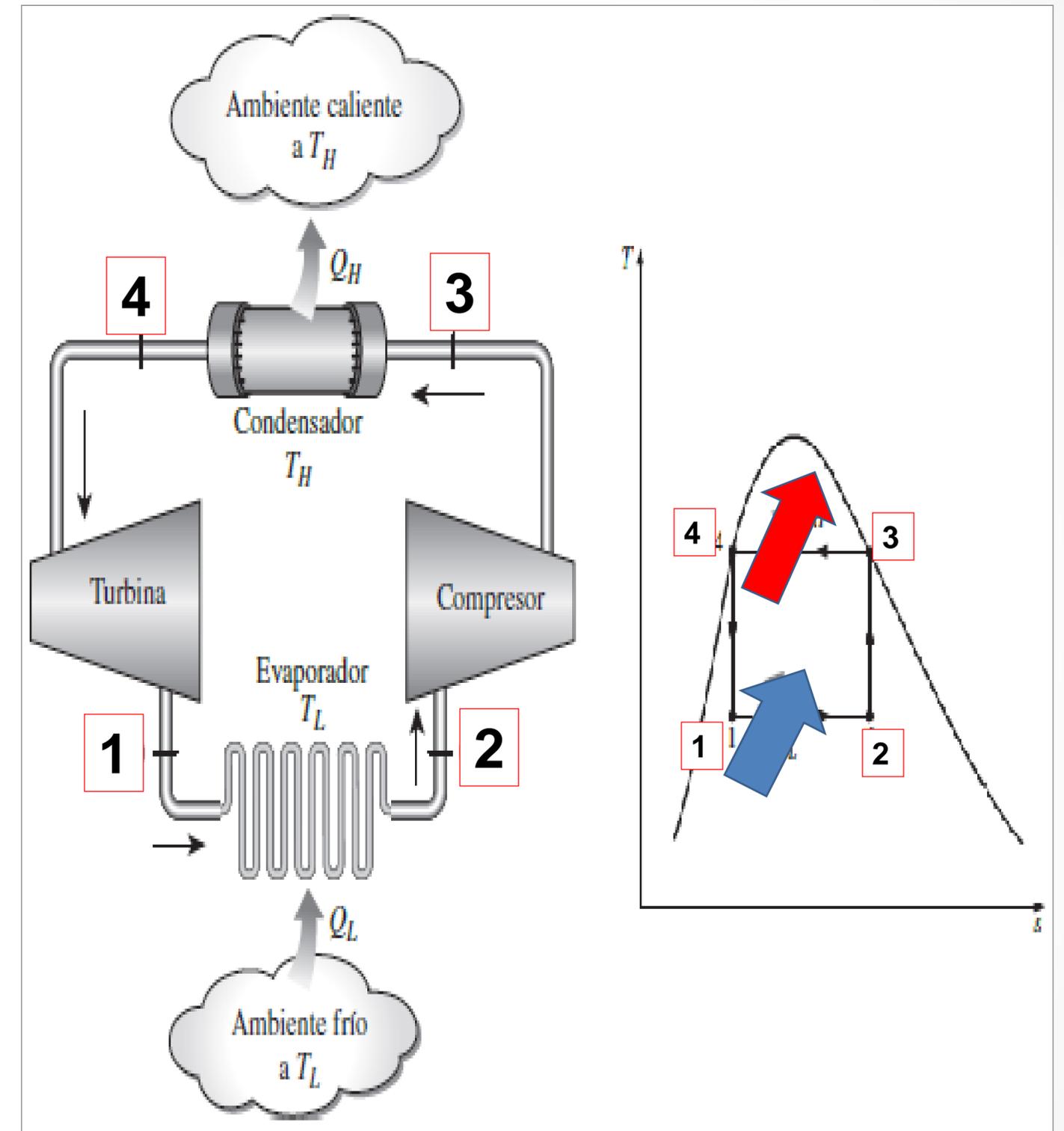
Considere un ciclo invertido de Carnot ejecutado dentro de la campana de saturación de un refrigerante, según la figura.



# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## CICLO INVERTIDO DE CARNOT

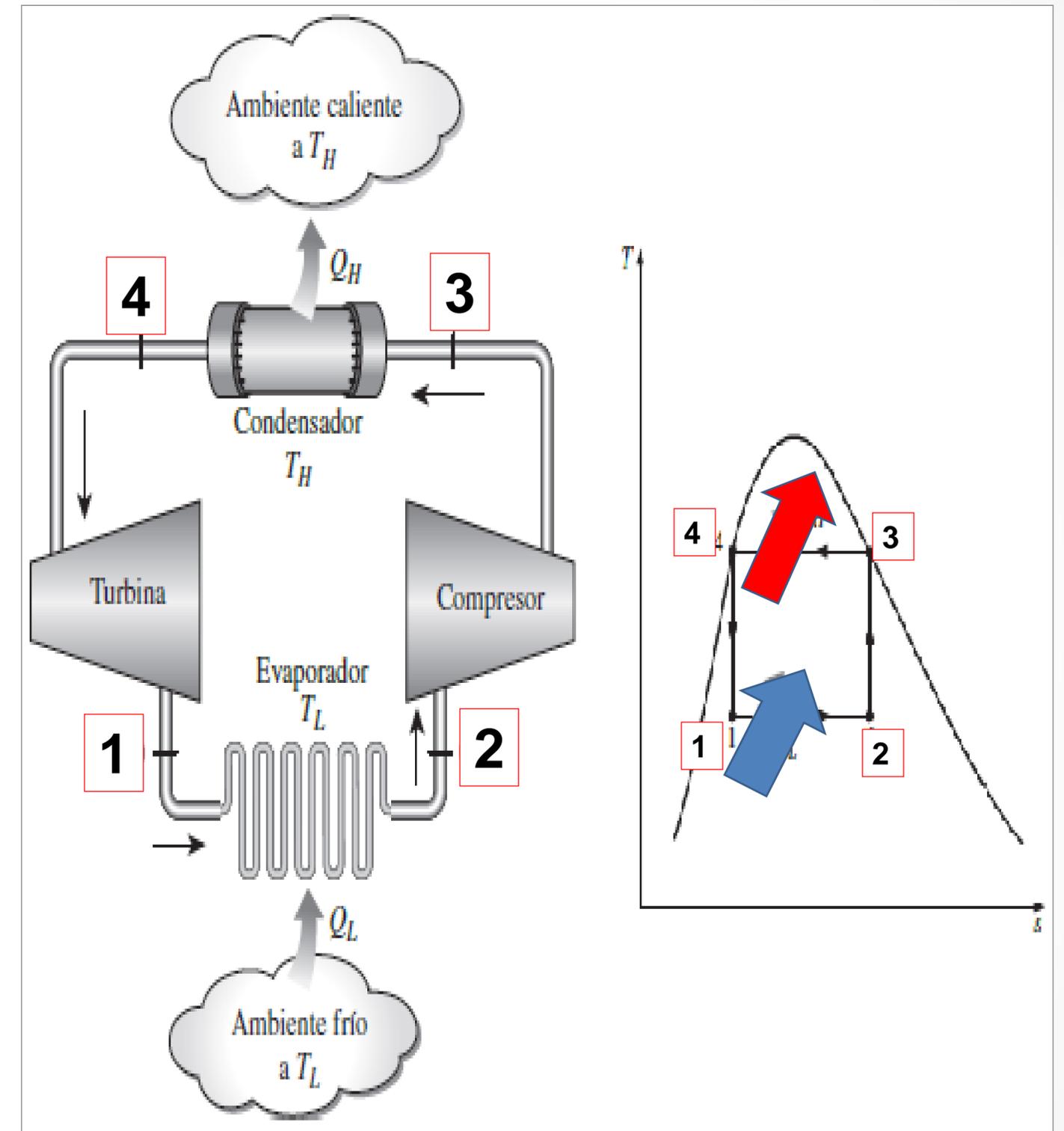
El refrigerante absorbe calor isotérmicamente de la fuente de baja temperatura a  $T_L$  en la cantidad de  $Q_L$  (proceso 1-2), se comprime isotrópicamente hasta el estado 3 (la temperatura se eleva hasta  $T_H$ ), rechaza calor isotérmicamente en un sumidero de alta temperatura a  $T_H$  en la cantidad de  $Q_H$  (proceso 3-4) y se expande isotrópicamente hasta el estado 1 (la temperatura desciende hasta  $T_L$ ).



# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## **CICLO INVERTIDO DE CARNOT**

El refrigerante cambia de un estado de vapor saturado a un estado de líquido saturado en el condensador durante el proceso 3-4.



# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## **CICLO INVERTIDO DE CARNOT**

Los coeficientes de desempeño de los refrigeradores y bombas de calor de Carnot se expresan en términos de temperatura como:

$$COP_{R,Carnot} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - T_L}$$

$$COP_{BC,Carnot} = \frac{1}{1 - \frac{T_H}{T_L}}$$

Ambos COP aumentan cuando la diferencia entre ambas temperaturas decrece, esto es, cuando  $T_L$  se eleva o  $T_H$  baja. **El ciclo invertido de Carnot es el ciclo de refrigeración más eficiente que opera entre dos niveles específicos de temperatura.** Por lo tanto, es natural considerarlo en primer lugar como un ciclo ideal esperado para los refrigeradores y las bombas de calor. Si pudiéramos, ciertamente podríamos adaptarlo como el **ciclo ideal**.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## **CICLO INVERTIDO DE CARNOT**

Los dos procesos isotérmicos de transferencia de calor no son difíciles de alcanzar en la práctica dado que al mantener **una presión constante automáticamente se fija la temperatura de una mezcla de dos fases en el valor de saturación.**

Por consiguiente, los procesos **1-2 y 3-4 pueden ser aproximados en los evaporadores y condensadores reales.** Sin embargo, los procesos **2-3 y 4-1 no pueden aproximarse lo suficiente en la práctica.** Esto se debe a que el proceso 2-3 incluye la compresión de un vapor húmedo que requiere un compresor que maneje dos fases, y el proceso 4-1 implica la expansión de un refrigerante con alto contenido de humedad en una turbina.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## ***CICLO INVERTIDO DE CARNOT***

En apariencia, estos problemas podrían eliminarse si se ejecuta el ciclo invertido de Carnot fuera de la región de saturación. Pero en este caso tenemos dificultades para mantener las condiciones isotérmicas durante los procesos de absorción y rechazo de calor. **Por ello, concluimos que el ciclo invertido de Carnot no puede aproximarse en los dispositivos reales y no es un modelo realista para los ciclos de refrigeración.** A pesar de ello, el ciclo invertido de Carnot sirve como un estándar contra el cual se comparan los ciclos reales de refrigeración.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



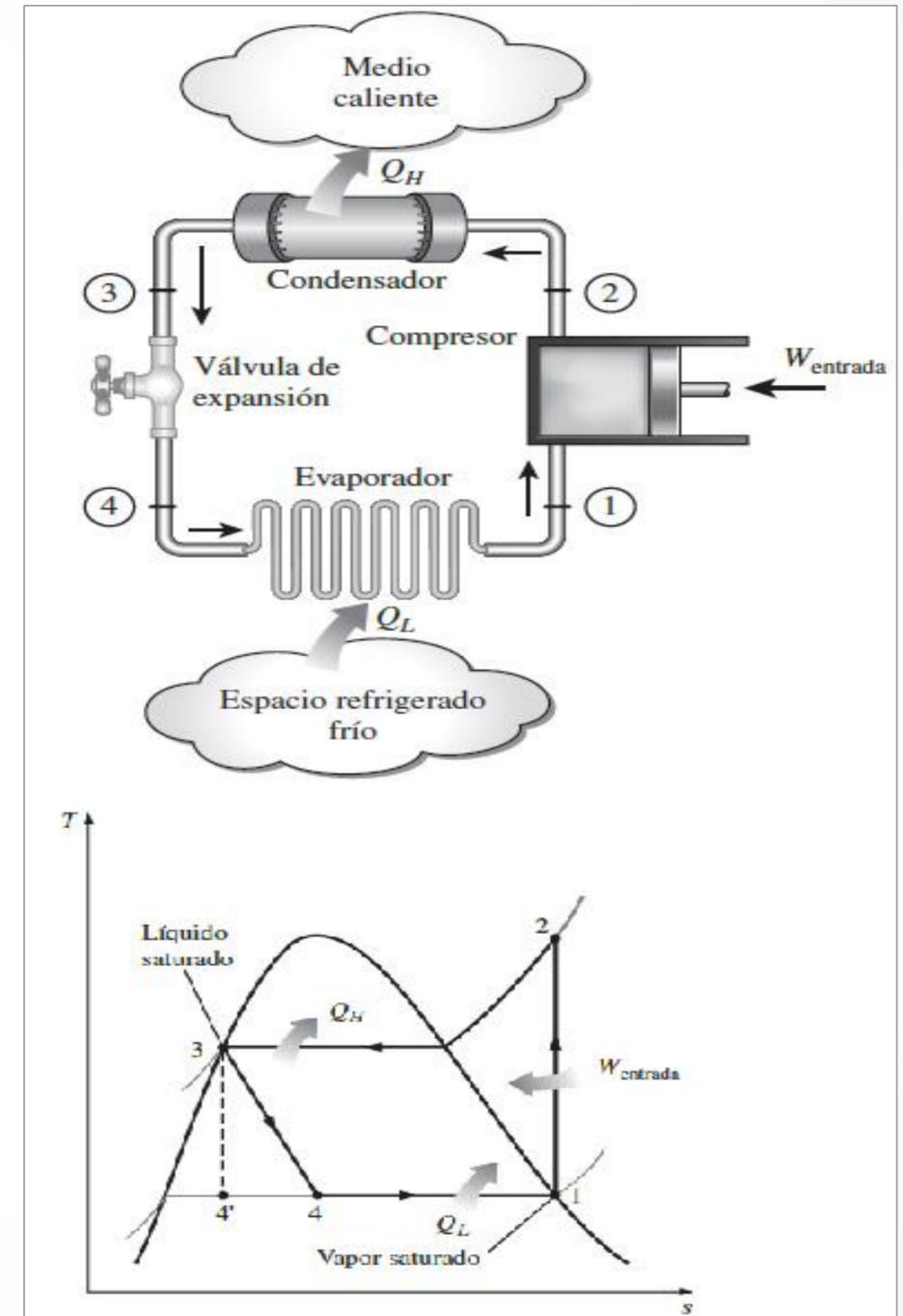
Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## **CICLO IDEAL POR COMPRESIÓN DE VAPOR Y CICLO REAL**

Muchos aspectos imprácticos asociados al ciclo invertido de Carnot se eliminan al evaporar el refrigerante por completo antes de comprimirlo, y sustituyendo la turbina con un dispositivo de estrangulamiento, como una válvula de expansión o un tubo capilar. El ciclo que resulta se denomina **ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor**, el que se muestra esquemáticamente y en un diagrama T-s en la figura. Este ciclo es el más utilizado en refrigeradores, sistemas de acondicionamiento de aire y bombas de calor.



# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## **CICLO IDEAL POR COMPRESIÓN DE VAPOR Y CICLO REAL**

Se compone de cuatro procesos:

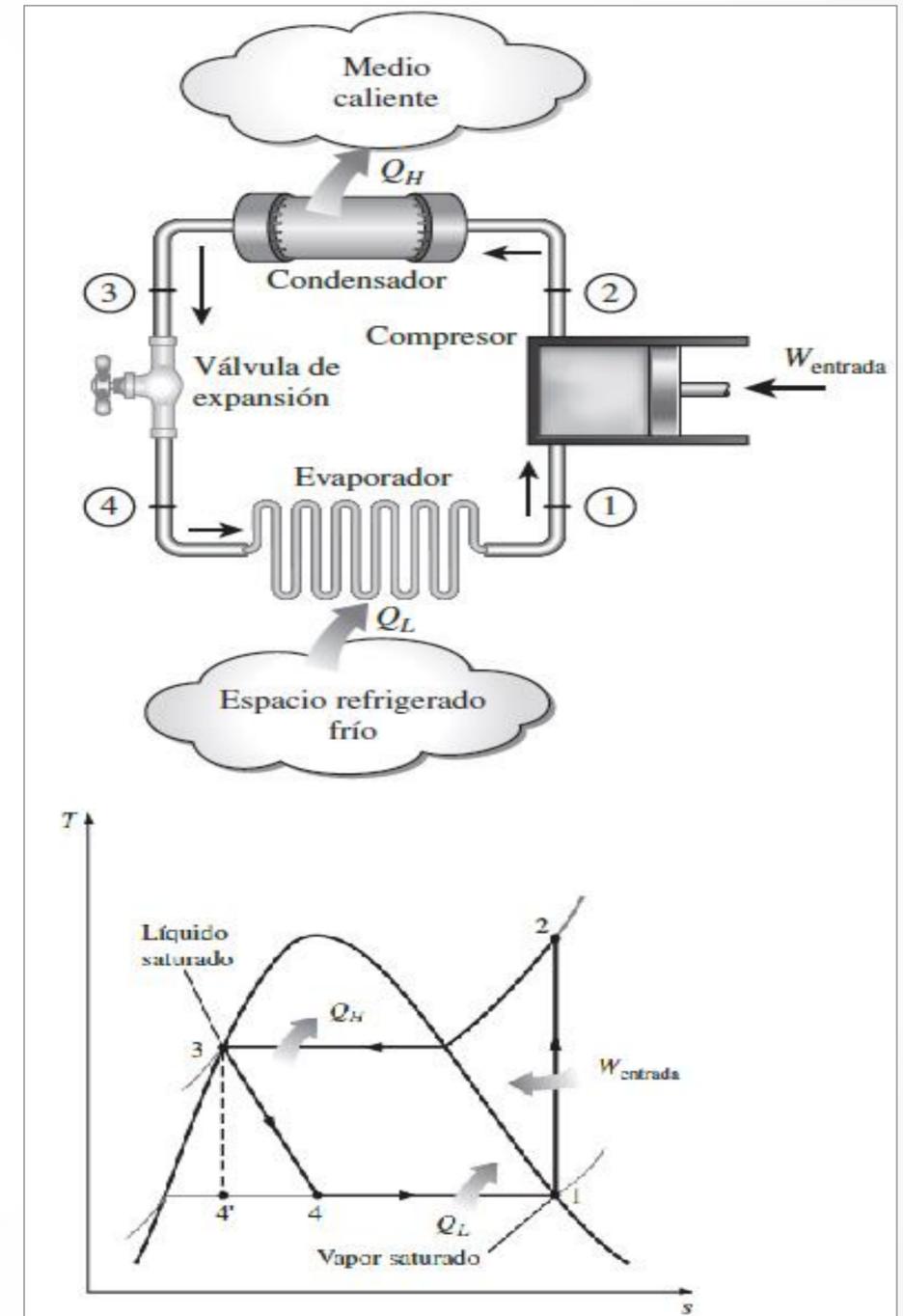
*1-2 Compresión isentrópica en un compresor.*

*2-3 Rechazo de calor a presión constante en un condensador.*

*3-4 Estrangulamiento en un dispositivo de expansión.*

*4-1 Absorción de calor a presión constante en un evaporador.*

En un ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor, el refrigerante entra al compresor en el estado 1 como vapor saturado y se comprime isotrópicamente hasta la presión del condensador.



# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## **CICLO IDEAL POR COMPRESIÓN DE VAPOR Y CICLO REAL**

Otro diagrama muy utilizado en el análisis de los ciclos de refrigeración por compresión de vapor es el diagrama P-h. En este diagrama, **tres de los cuatro procesos aparecen como líneas rectas**, y la transferencia de calor en el condensador y el evaporador es proporcional a la longitud de la curva del proceso correspondiente. Observe que a diferencia de los ciclos ideales analizados antes, el ciclo de refrigeración por compresión de vapor no es un ciclo internamente reversible puesto que **incluye un proceso irreversible (estrangulamiento)**. Este proceso se mantiene en el ciclo para hacerlo un modelo más realista para el ciclo real de refrigeración por compresión de vapor.

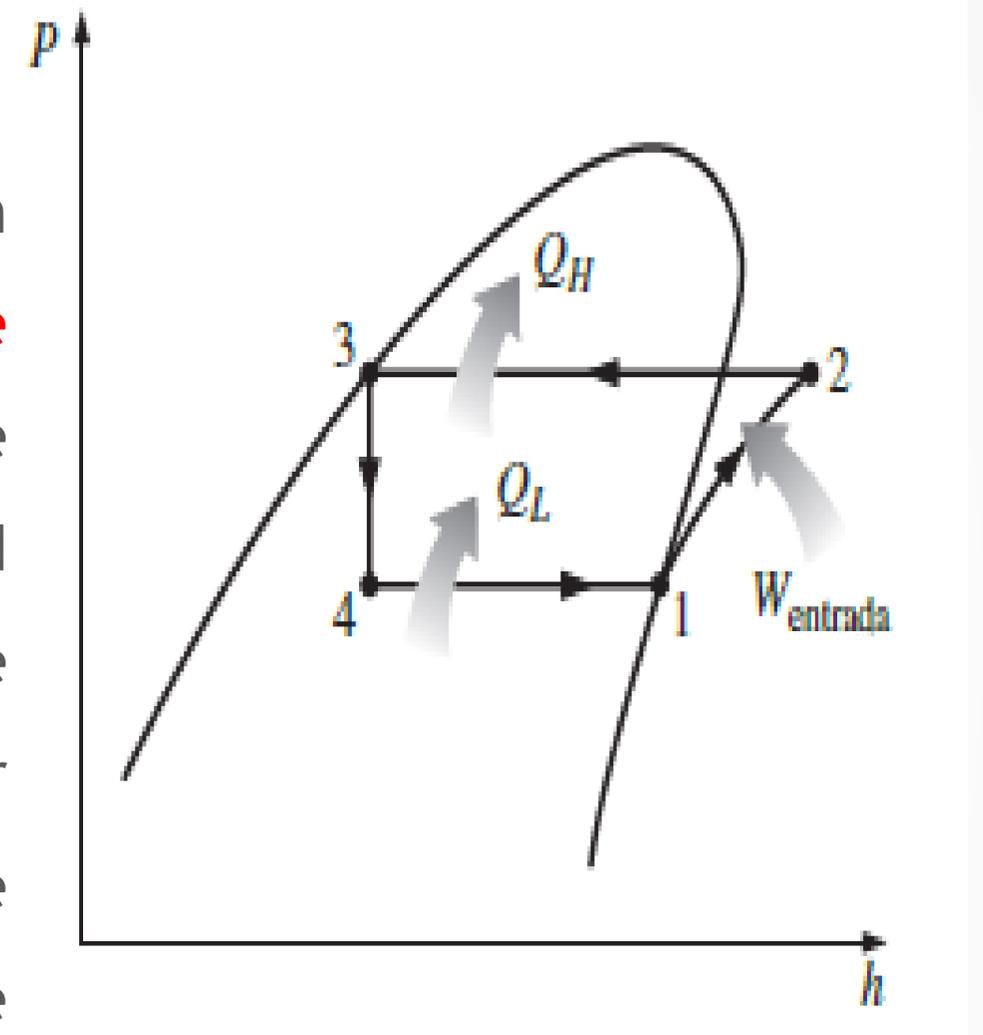


Diagrama P-h de un ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor

# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## **CICLO IDEAL POR COMPRESIÓN DE VAPOR Y CICLO REAL**

Si el dispositivo de estrangulamiento se sustituye por una turbina isoentrópica, el refrigerante entraría en el evaporador en el estado 4' y no en el estado 4. En consecuencia, la capacidad de refrigeración aumentaría (por el área bajo la curva del proceso 4-4' y la entrada neta de trabajo disminuiría (por la cantidad de salida de trabajo de la turbina). El reemplazo de la válvula de expansión por la turbina no es práctico, ya que no se justifica el costo y la complejidad generadas.

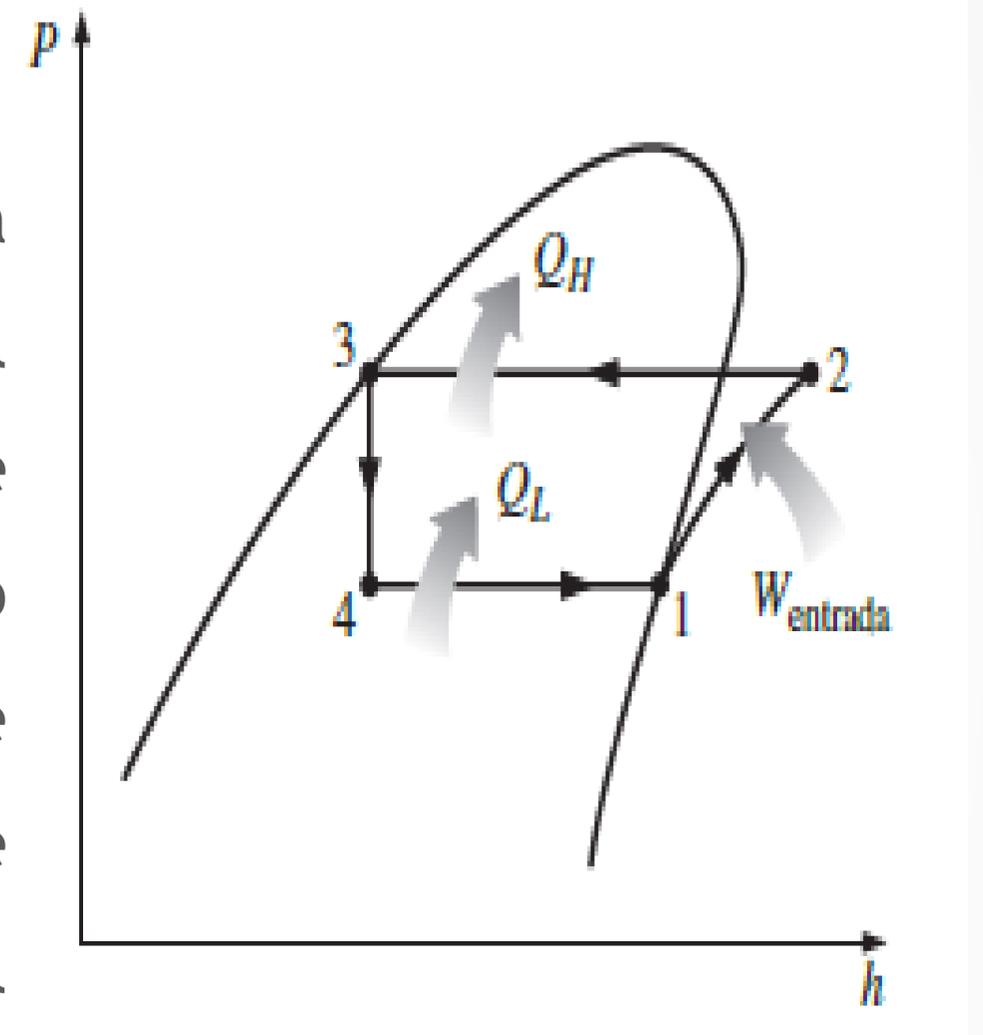


Diagrama P-h de un ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor

# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## CICLO IDEAL POR COMPRESIÓN DE VAPOR Y CICLO REAL

Los cuatro componentes asociados con el ciclo de refrigeración por compresión de vapor son dispositivos de flujo estacionario, por lo que los cuatro procesos que integran el ciclo pueden analizarse como procesos de flujo estacionario. **Los cambios en la energía cinética y potencial del refrigerante suelen ser pequeños en relación con los términos de trabajo y transferencia de calor,** y por lo tanto, pueden ignorarse. Entonces la ecuación de energía de flujo estacionario por unidad de masa se reduce a:

$$(q_{entrada} - q_{salida}) + (w_{entrada} - w_{salida}) = h_{salida} - h_{entrada}$$

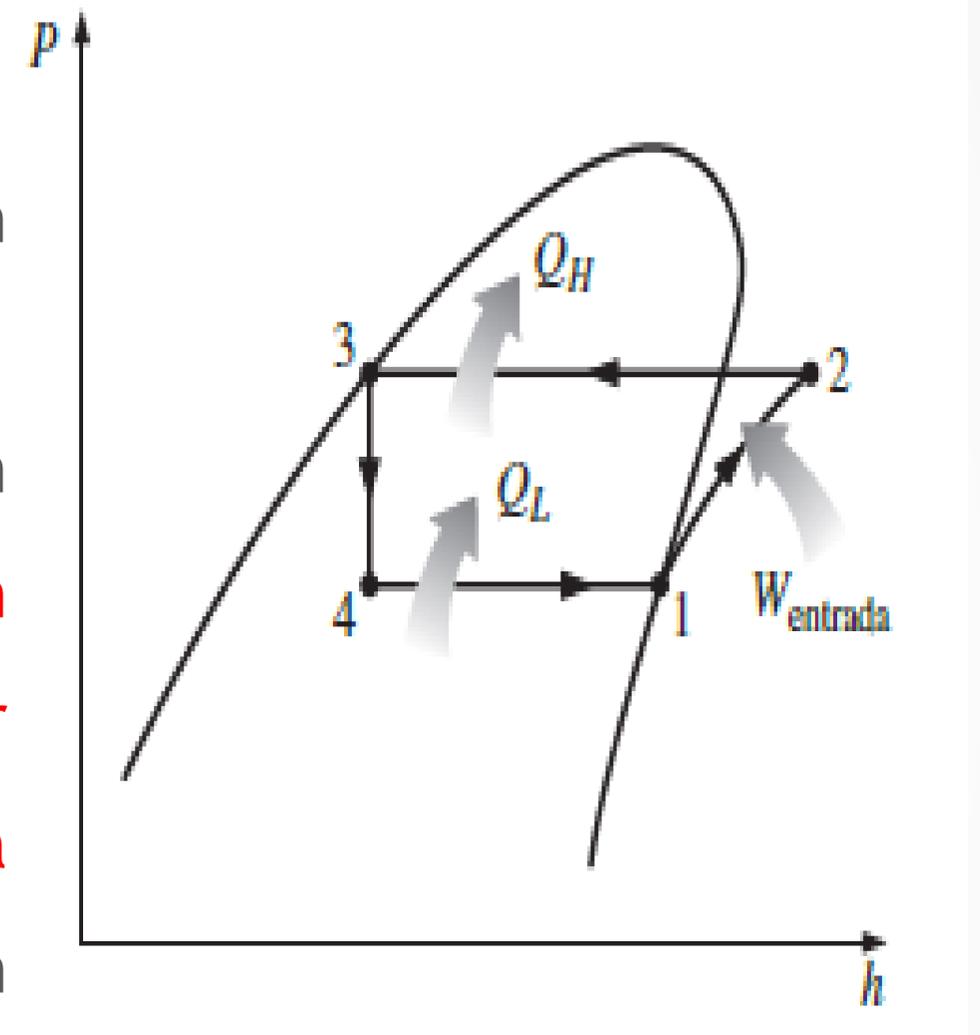


Diagrama P-h de un ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor

# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## CICLO IDEAL POR COMPRESIÓN DE VAPOR

El condensador y el evaporador no implican ningún trabajo y el compresor puede calcularse como adiabático.

Entonces los COP de refrigeradores y bombas de calor que operan en el ciclo de refrigeración por compresión de vapor pueden expresarse como:

$$\text{COP}_R = \frac{q_L}{W_{\text{neto,entrada}}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

$$\text{COP}_{BC} = \frac{q_H}{W_{\text{neto,entrada}}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

Donde  $h_1 = h_g$  y  $h_3 = h_f$  a P3 para el caso ideal

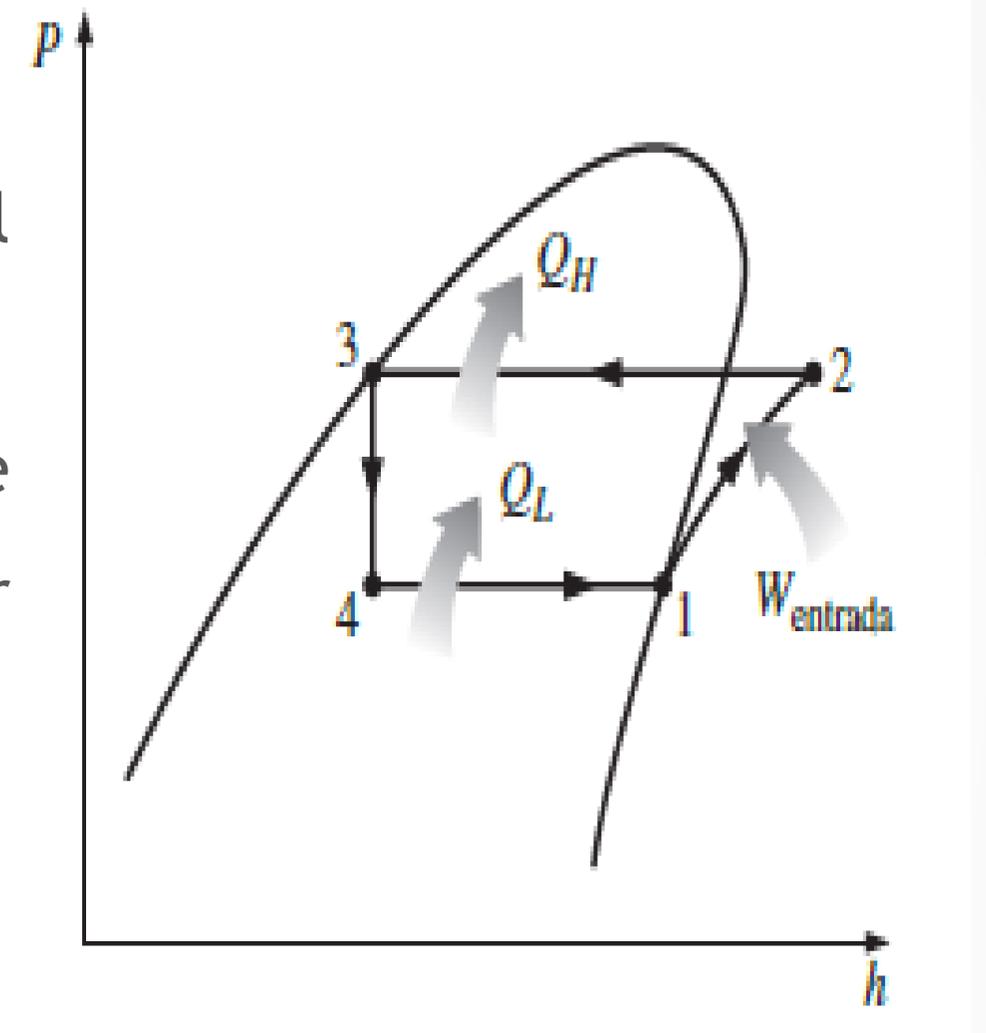


Diagrama P-h de un ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor

# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## **CICLO IDEAL POR COMPRESIÓN DE VAPOR**

**EJEMPLO.** En un refrigerador se utiliza refrigerante 134a como fluido de trabajo, y opera en un ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor entre 0,14 y 0,8 Mpa. Si el flujo másico del refrigerante es de 0,05 kg/s. determine a) la tasa de eliminación de calor del espacio refrigerado y la entrada de potencia al compresor, b) la tasa de rechazo de calor al ambiente y c) el COP del refrigerador.

*Solución:* Un refrigerador opera en un ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor entre dos límites de presión especificados.

*Suposiciones:* 1) Existen condiciones estacionarias de operación.

2) Los cambios en las energías cinética y potencial son insignificantes.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción

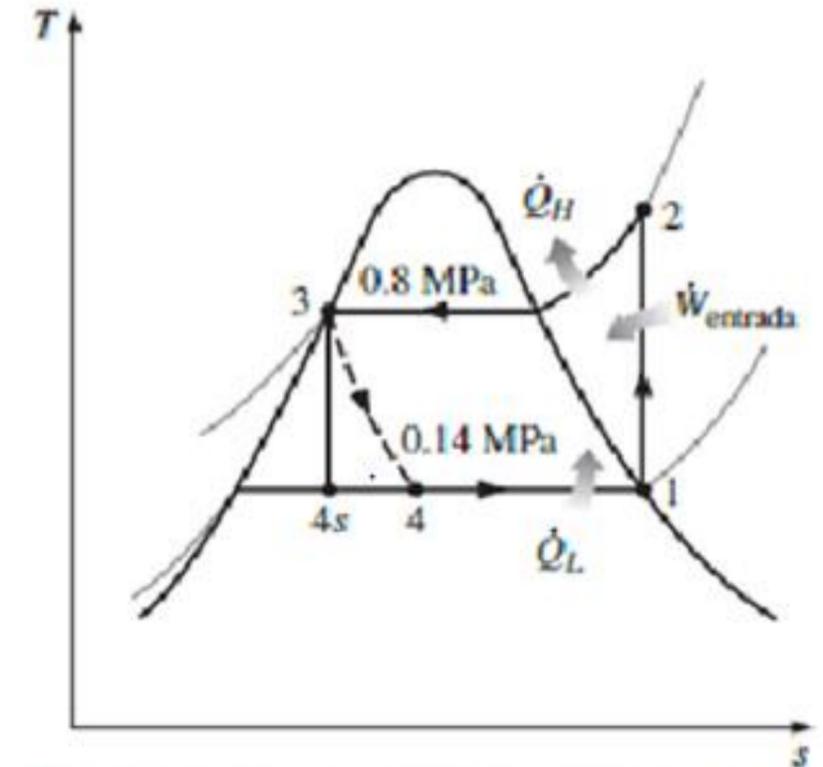


# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## CICLO IDEAL POR COMPRESIÓN DE VAPOR

El ciclo de refrigeración, que se representa en la figura, es un ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor. El compresor es isentrópico mientras que el refrigerante deja al condensador como un líquido saturado y entra al compresor como vapor saturado. A partir de las tablas del refrigerante 134a, las entalpías del refrigerante en los cuatro estados se determinan como sigue:

$$\begin{aligned} P_1 = 0.14 \text{ MPa} &\longrightarrow h_1 = h_g \text{ a } 0.14 \text{ MPa} = 239.16 \text{ kJ/kg} \\ & s_1 = s_g \text{ a } 0.14 \text{ MPa} = 0.94456 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \\ \left. \begin{aligned} P_2 = 0.8 \text{ MPa} \\ s_2 = s_1 \end{aligned} \right\} & h_2 = 275.39 \text{ kJ/kg} \\ P_3 = 0.8 \text{ MPa} &\longrightarrow h_3 = h_f \text{ a } 0.8 \text{ MPa} = 95.47 \text{ kJ/kg} \\ h_4 \cong h_3 \text{ (estrangulamiento)} &\longrightarrow h_4 = 95.47 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$



Ejemplo. Diagrama T-s del ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor

# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## CICLO IDEAL POR COMPRESIÓN DE VAPOR

a) La tasa de eliminación de calor del espacio refrigerado y la entrada de potencia al compresor se determinan por sus definiciones:

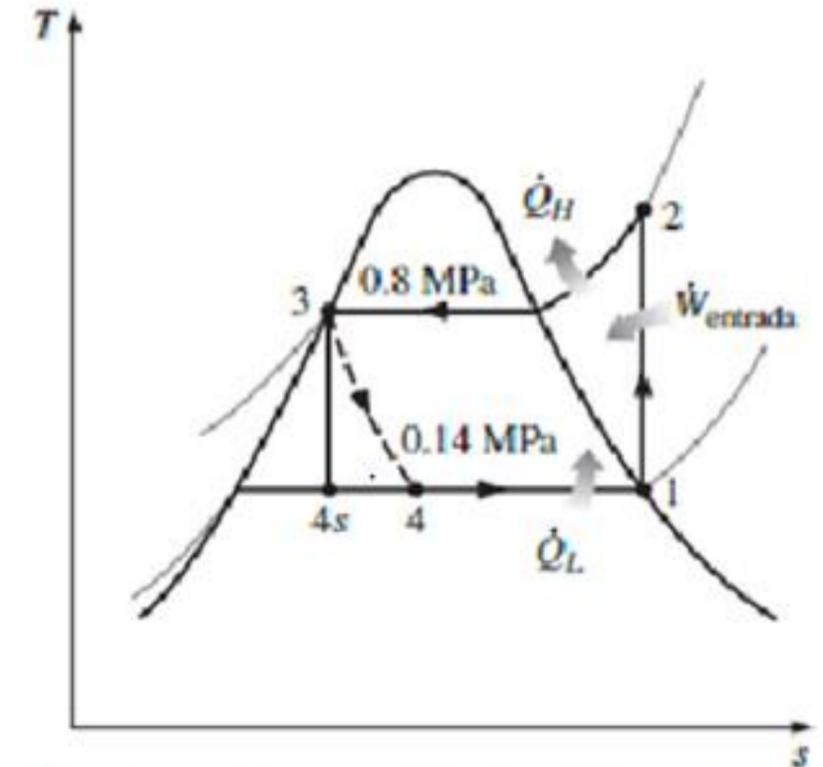
$$\begin{aligned}\dot{Q}_L &= \dot{m}(h_1 - h_4) = (0.05 \text{ kg/s})[(239.16 - 95.47) \text{ kJ/kg}] = 7.18 \text{ kW} \\ \dot{W}_{\text{entrada}} &= \dot{m}(h_2 - h_1) = (0.05 \text{ kg/s})[(275.39 - 239.16) \text{ kJ/kg}] = 1.81 \text{ kW}\end{aligned}$$

b) La tasa de rechazo de calor del refrigerante al ambiente es:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_H &= \dot{m}(h_2 - h_3) = (0.05 \text{ kg/s})[(275.39 - 95.47) \text{ kJ/kg}] = 9.0 \text{ kW} \\ \dot{Q}_H &= \dot{Q}_L + \dot{W}_{\text{entrada}} = 7.18 + 1.81 = 8.99 \text{ kW}\end{aligned}$$

c) El coeficiente de desempeño del refrigerador es:

$$\text{COP}_R = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{\text{entrada}}} = \frac{7.18 \text{ kW}}{1.81 \text{ kW}} = 3.97$$



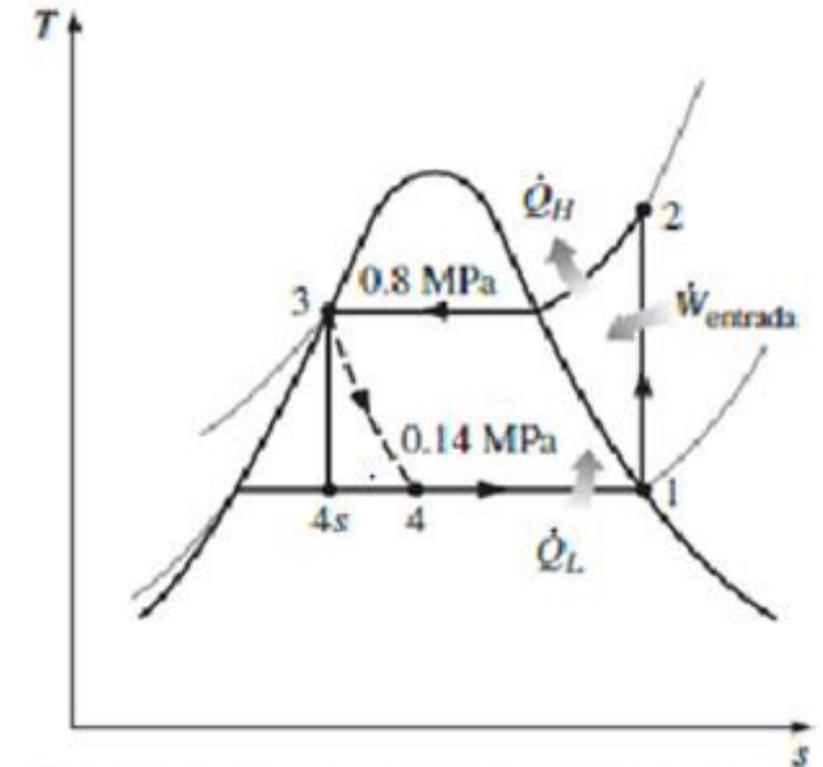
Ejemplo. Diagrama T-s del ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor

# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## CICLO IDEAL POR COMPRESIÓN DE VAPOR

Es decir, este refrigerador elimina 4 unidades de energía térmica del espacio refrigerado por cada unidad de energía eléctrica que consume.

**Comentario** Sería interesante observar lo que ocurre cuando la válvula de estrangulamiento es sustituida por una turbina isentrópica. La entalpía en el estado 4s (la salida de la turbina con  $P_{4s} = 0.14 \text{ MPa}$  y  $s_{4s} = s_3 = 0.35404 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ ) es 88.94 kJ/kg, y la turbina produciría 0.33 kW de potencia. Esto disminuiría la entrada de potencia en el refrigerador de 1.81 a 1.48 kW y aumentaría la tasa de remoción de calor del espacio refrigerado, desde 7.18 hasta 7.51 kW. Como resultado, el COP del refrigerador aumentaría de 3.97 a 5.07, un incremento de 28 por ciento.

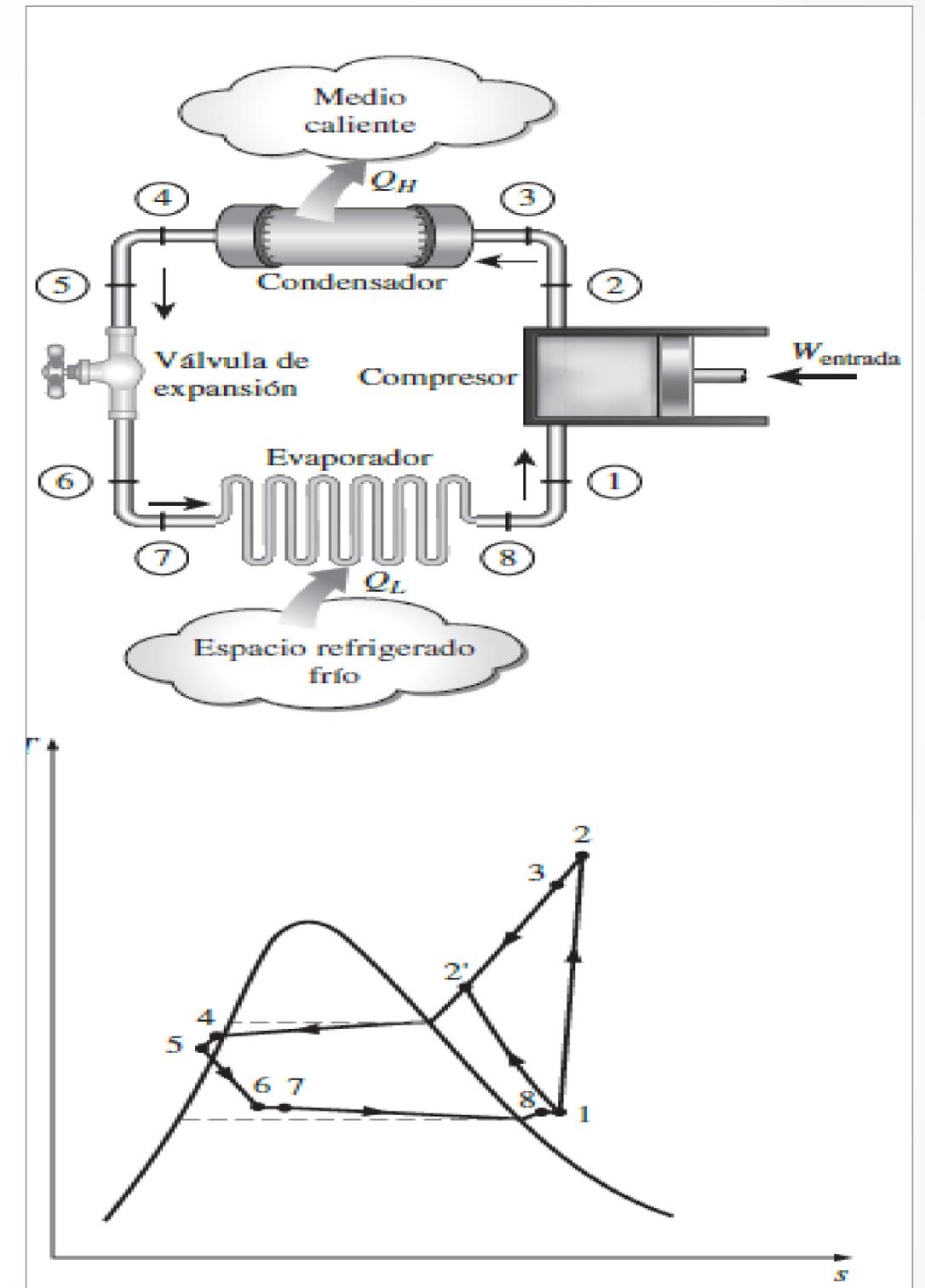


Ejemplo. Diagrama T-s del ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor

# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## CICLO REAL POR COMPRESIÓN DE VAPOR

Difiere de uno ideal por las **irreversibilidades** en varios componentes a saber: La **fricción del fluido** (causa caídas de presión) y la transferencia de calor hacia o desde los alrededores. El diagrama T-s de un ciclo real de refrigeración por compresión de vapor se muestra en la figura.



# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## **CICLO REAL POR COMPRESIÓN DE VAPOR**

En el ideal, el refrigerante sale del evaporador y entra al compresor como vapor saturado pero, en la práctica, **no es posible controlar el estado del refrigerante** con tanta precisión. En lugar de eso, es fácil diseñar el sistema de modo que el refrigerante **se sobrecaliente ligeramente** en la entrada del compresor. Este ligero sobrecalentamiento asegura que el refrigerante se evapore por completo cuando entra al compresor. También, la línea que conecta al evaporador con el compresor suele ser muy larga; por lo tanto, la caída de presión por la fricción del fluido y la transferencia de calor de los alrededores al refrigerante pueden ser muy significativas.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## **CICLO REAL POR COMPRESIÓN DE VAPOR**

El resultado del sobrecalentamiento, de la ganancia de calor en la línea de conexión y las caídas de presión en el evaporador y la línea de conexión, consiste en un incremento en el volumen específico y, por consiguiente, en un incremento en los requerimientos de entrada de potencia al compresor puesto que el trabajo de flujo estacionario es proporcional al volumen específico.

El proceso de compresión en el ciclo ideal es **internamente reversible y adiabático** y, por ende, isoentrópico. Sin embargo, el proceso de compresión real incluirá efectos de fricción, los cuales incrementan la entropía y la transferencia de calor, lo que puede aumentar o disminuir la entropía, dependiendo de la dirección.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## **CICLO REAL POR COMPRESIÓN DE VAPOR**

Por consiguiente, la entropía del refrigerante puede incrementarse (*proceso 1-2*) o disminuir (*proceso 1-2*) durante un proceso de compresión real, dependiendo del predominio de los efectos. El proceso de compresión 1-2 puede ser incluso más deseable que el proceso de compresión isoentrópico debido a que el volumen específico del refrigerante y, por consiguiente, el requerimiento de entrada de trabajo son más pequeños en este caso. **De ese modo, el refrigerante debe enfriarse durante el proceso de compresión siempre que sea práctico y económico hacerlo.**



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## ***CICLO REAL POR COMPRESIÓN DE VAPOR***

En el caso ideal, se supone que el refrigerante sale del condensador como líquido saturado a la presión de salida del compresor. En realidad, es inevitable tener cierta caída de presión en el condensador, así como en las líneas que lo conectan con el compresor y la válvula de estrangulamiento. Además, no es fácil ejecutar el proceso de condensación con tal precisión como para que el refrigerante sea un líquido saturado al final, y es indeseable enviar el refrigerante a la válvula de estrangulamiento antes de que se condense por completo.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## ***CICLO REAL POR COMPRESIÓN DE VAPOR***

En consecuencia, el refrigerante se subenfía un poco antes de que entre a la válvula de estrangulamiento. A pesar de todo esto, se debe tener en mente dado que el refrigerante entra al evaporador con una entalpía inferior y por ello puede absorber más calor del espacio refrigerado. La válvula de estrangulamiento y el evaporador se localizan muy cerca el uno del otro, de modo que la caída de presión en la línea de conexión es pequeña.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

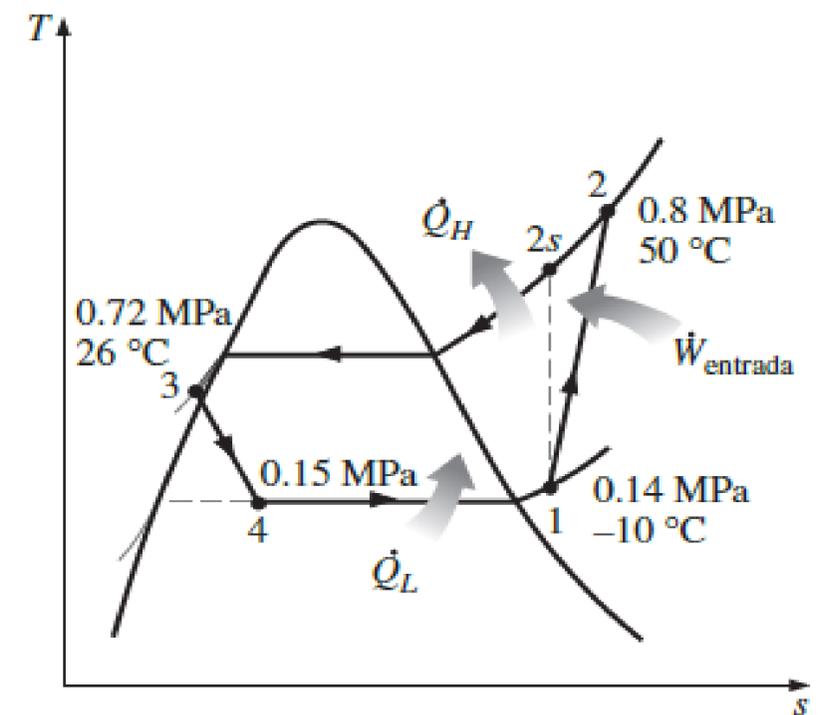
## CICLO REAL POR COMPRESIÓN DE VAPOR

EJEMPLO. El ciclo de refrigeración se muestra en el diagrama T-s en la figura. El refrigerante sale del condensador como un líquido comprimido y entra al compresor como vapor sobrecalentado. Las entalpías del refrigerante en varios estados se determinan a partir de las tablas del refrigerante como:

$$\begin{array}{l}
 P_1 = 0.14 \text{ MPa} \\
 T_1 = -10 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} P_1 \\ T_1 \end{array}} \right\} h_1 = 246.36 \text{ kJ/kg}
 \quad
 \begin{array}{l}
 P_2 = 0.8 \text{ MPa} \\
 T_2 = 50 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} P_2 \\ T_2 \end{array}} \right\} h_2 = 286.69 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{array}{l}
 P_3 = 0.72 \text{ MPa} \\
 T_3 = 26 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} P_3 \\ T_3 \end{array}} \right\} h_3 \cong h_{f \text{ a } 26 \text{ }^\circ\text{C}} = 87.83 \text{ kJ/kg}$$

$$h_4 \cong h_3 \text{ (estrangulamiento)} \longrightarrow h_4 = 87.83 \text{ kJ/kg}$$



Ejemplo. Diagrama T-s del ciclo de refrigeración por compresión de vapor

# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## CICLO REAL POR COMPRESIÓN DE VAPOR - EJEMPLOS

a) La tasa de remoción de calor del espacio refrigerado y la entrada de potencia al compresor se determinan por sus definiciones:

$$\dot{Q}_L = \dot{m}(h_1 - h_4) = (0.05 \text{ kg/s})[(246.36 - 87.83) \text{ kJ/kg}] = 7.93 \text{ kW} \quad \text{y}$$

$$\dot{W}_{\text{entrada}} = \dot{m}(h_2 - h_1) = (0.05 \text{ kg/s})[(286.69 - 246.36) \text{ kJ/kg}] = 2.02 \text{ kW}$$

b) La eficiencia isentrópica del compresor se obtiene:

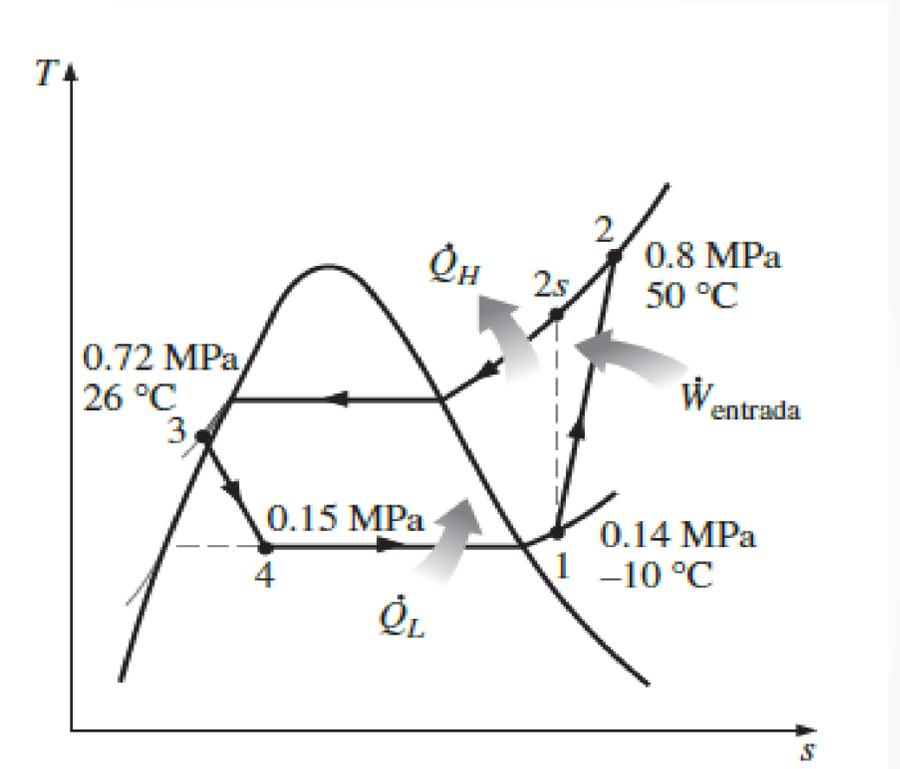
$$\eta_c \equiv \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1}$$

donde la entalpía en el estado 2s ( $P_{2s} = 0.8 \text{ MPa}$  y  $s_{2s} = s_1 = 0.9724 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ ) es 284.21 kJ/kg. Por lo tanto,

$$\eta_c = \frac{284.21 - 246.36}{286.69 - 246.36} = 0.939 \text{ o } 93.9\%$$

c) El coeficiente de desempeño del refrigerador es:

$$\text{COP}_R = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{\text{entrada}}} = \frac{7.93 \text{ kW}}{2.02 \text{ kW}} = 3.93$$



Ejemplo. Diagrama T-s del ciclo de refrigeración por compresión de vapor



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



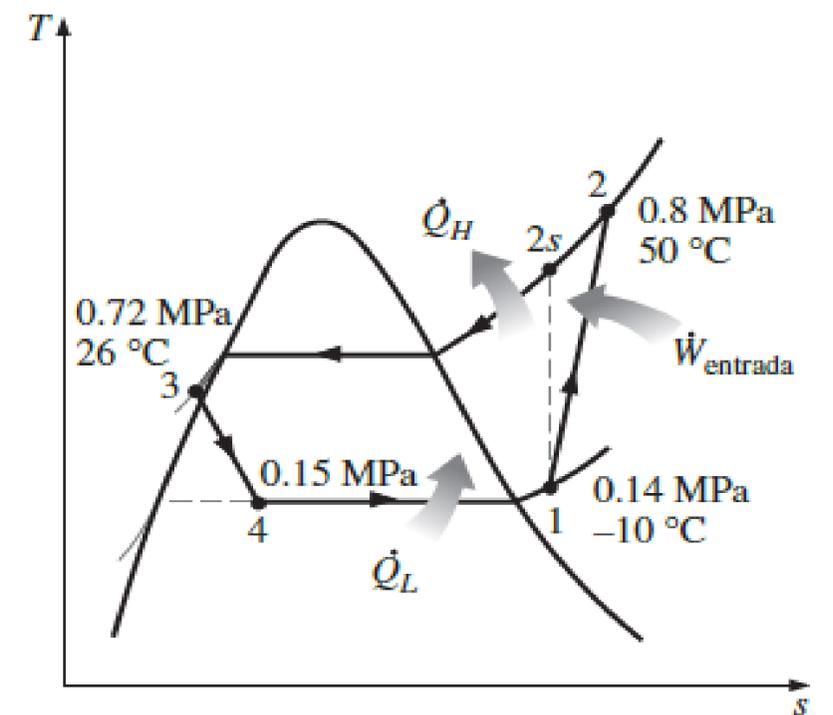
Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CICLOS DE REFRIGERACIÓN

## CICLO REAL POR COMPRESIÓN DE VAPOR - EJEMPLOS

El refrigerante se sobrecalienta un poco a la entrada del compresor y se subenfía a la salida del condensador. Además, el compresor no es isentrópico. Como resultado, la tasa de eliminación de calor del espacio refrigerado aumenta (en 10,4%), pero la entrada de potencia al compresor aumenta aún más (en 11,6%). Por consiguiente, el COP del refrigerador disminuye de 3,97 a 3,93.



Ejemplo. Diagrama T-s del ciclo de refrigeración por compresión de vapor

# SELECCIÓN DEL REFRIGERANTE ADECUADO

## INTRODUCCIÓN

Cuando se diseña un sistema de refrigeración, existen varios refrigerantes que pueden elegirse, como clorofluorocarbonos (CFC), amoníaco, hidrocarburos (propano, etano, etileno, etc.), dióxido de carbono, aire (en el acondicionamiento de aire de aviones) e incluso agua (en aplicaciones arriba del punto de congelación). Una adecuada elección del refrigerante depende de la situación específica. De éstos, los refrigerantes tales como R-11, R-12, R-22, R-134a, R-502 y R-717 abarcan 90 por ciento del mercado en Estados Unidos.

El éter etílico fue el primer refrigerante utilizado para el comercio de sistemas por compresión de vapor en 1850, y le siguieron otros como amoníaco, dióxido de carbono, cloruro metílico, dióxido de azufre, butano, etano, propano, gasolina, y los clorofluorocarbonos, entre otros.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# SELECCIÓN DEL REFRIGERANTE ADECUADO

## **INTRODUCCIÓN**

Los sectores industriales y del gran comercio estaban muy satisfechos con el amoníaco, y aún lo están, aunque este compuesto es tóxico. Las ventajas del amoníaco sobre otros refrigerantes son su bajo costo, altos COP (y en consecuencia, menores costos de energía), sus propiedades termodinámicas y de transporte más favorables y, por ello, coeficientes de transferencia de calor más altos (requiere intercambiadores de calor más pequeños y de menor costo), mayor detectabilidad en el caso de una fuga y ningún efecto en la capa de ozono.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# SELECCIÓN DEL REFRIGERANTE ADECUADO

## INTRODUCCIÓN

La *principal desventaja del amoníaco es su toxicidad*, que lo hace inadecuado para el uso doméstico. El amoníaco se usa predominantemente en las instalaciones de refrigeración de alimentos como la preservación de frutas frescas, vegetales, carnes y pescado; la refrigeración de bebidas y productos lácteos como la cerveza y el vino, la leche y el queso; el congelamiento de helados y otros alimentos; la producción de hielo, y la refrigeración a baja temperatura en las industrias farmacéutica y algunas otras.

Es notable que los primeros refrigerantes utilizados en los sectores doméstico y del pequeño comercio como el dióxido de azufre, el cloruro de etilo y de metilo, eran altamente tóxicos.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# SELECCIÓN DEL REFRIGERANTE ADECUADO

## **INTRODUCCIÓN**

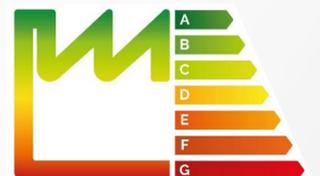
La amplia difusión de unos cuantos casos de serias fugas que causaron lesionados y muertos en la década de 1920 produjo una petición pública para prohibir o limitar el uso de estos refrigerantes, creando la necesidad para el desarrollo de un refrigerante seguro de uso residencial. En 1928, en respuesta a una solicitud, Frigidaire Corporation, el laboratorio de investigación de la General Motors, desarrolló en tres días el R-21, el primer miembro de la familia de los refrigerantes de CFC. De varios CFC desarrollados, el equipo de investigación eligió al R-12 como el refrigerante más adecuado para uso comercial y le dio a la familia de CFC el nombre comercial “Freón”.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# SELECCIÓN DEL REFRIGERANTE ADECUADO

## INTRODUCCIÓN

La crisis del ozono ha ocasionado una gran agitación en la industria de la refrigeración y el aire acondicionado, y ha generado un análisis crítico de los refrigerantes actuales. A mitad de la década de 1970 *se reconoció que los CFC permitían más radiación ultravioleta en la atmósfera de la Tierra, ya que destruyen la capa protectora de ozono y por lo tanto contribuyen al efecto invernadero que a su vez ocasiona el calentamiento global.* En consecuencia, el uso de algunos CFC se ha prohibido por medio de tratados internacionales. Los CFC completamente halogenados (como el R-11, R-12 y R-115) son responsables de la mayor parte del daño de la capa de ozono.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# SELECCIÓN DEL REFRIGERANTE ADECUADO

## **INTRODUCCIÓN**

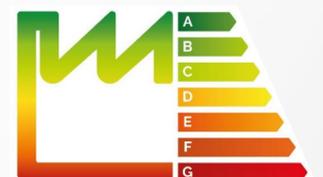
Los refrigerantes no completamente halogenados como el R-22 tienen cerca de 5 por ciento de la capacidad destructiva del ozono que posee el R-12. En la actualidad, se están desarrollando refrigerantes favorables a la capa de ozono, que protejan a la Tierra de los dañinos rayos ultravioleta. *El alguna vez popular R-12 fue en gran parte reemplazado por el recientemente desarrollado R-134a, libre de cloro.*



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# SELECCIÓN DEL REFRIGERANTE ADECUADO

## ***CARACTERÍSTICAS DEL REFRIGERANTE***

Dos parámetros importantes que necesitan considerarse en la selección de un refrigerante son **las temperaturas de los dos medios (el espacio refrigerado y el ambiente)** con los cuales el refrigerante intercambia calor.

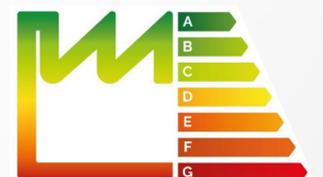
Para tener una transferencia de calor a una tasa razonable, debe mantenerse una diferencia de temperatura de 5 a 10 °C entre el refrigerante y el medio con que intercambia calor. Por ejemplo, si un espacio refrigerado va a mantenerse a -10 °C, la temperatura del refrigerante debe mantenerse cercana a -20 °C mientras absorbe calor en el evaporador.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# SELECCIÓN DEL REFRIGERANTE ADECUADO

## ***CARACTERÍSTICAS DEL REFRIGERANTE***

La presión más baja en un ciclo de refrigeración sucede en el evaporador, y esta presión debe ser superior a la atmosférica para evitar cualquier filtración de aire dentro del sistema de refrigeración.

Por lo tanto, un refrigerante debe tener una presión de saturación de 1 atm o mayor a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  en este caso particular. El amoníaco y el R-134a son dos de esas sustancias.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# SELECCIÓN DEL REFRIGERANTE ADECUADO

## ***CARACTERÍSTICAS DEL REFRIGERANTE***

La temperatura (y por lo tanto, la presión) del refrigerante en el lado del condensador depende del medio hacia el cual se rechaza el calor. Es posible mantener temperaturas menores en el condensador (y por ello, COP más altos) si el refrigerante se enfría con agua líquida en lugar de aire. Sin embargo, el uso de agua de enfriamiento no tiene una justificación económica, salvo en los grandes sistemas de refrigeración industrial. La temperatura del refrigerante en el condensador no puede descender por debajo de la temperatura del medio de enfriamiento (alrededor de 20 °C en un refrigerador doméstico) y la presión de saturación del refrigerante a esta temperatura debe estar bastante debajo de su presión crítica si el proceso de rechazo de calor va a ser aproximadamente isotérmico.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# SELECCIÓN DEL REFRIGERANTE ADECUADO

## ***CARACTERÍSTICAS DEL REFRIGERANTE***

Otra característica deseable de un refrigerante es que no sea tóxico, corrosivo o inflamable, pero que sea estable químicamente; que tenga **alta entalpía de vaporización** (minimizando el flujo másico) y, por supuesto, que se obtenga a bajo costo.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe

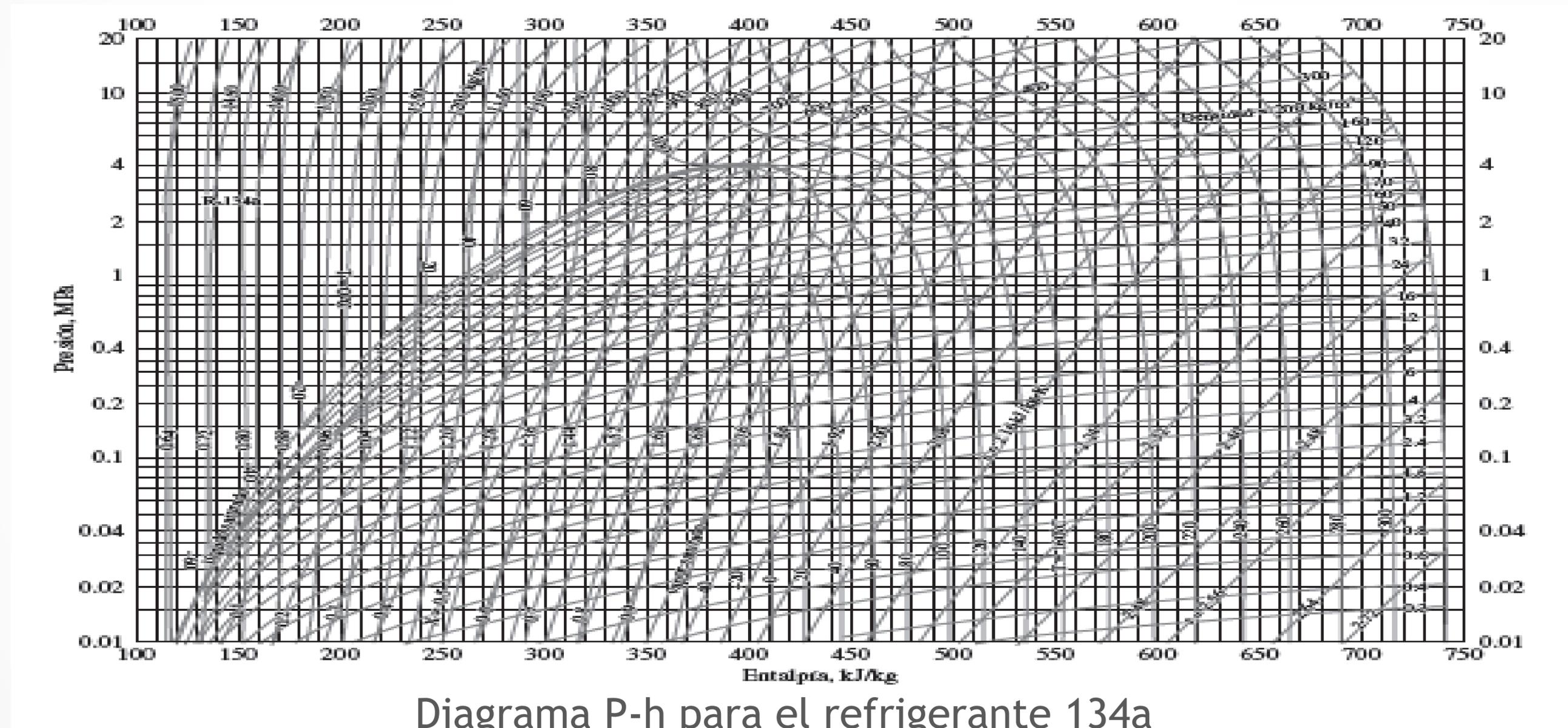


Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# SELECCIÓN DEL REFRIGERANTE ADECUADO

## REFRIGERANTE 134A



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR

## **SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE MÚLTIPLES ETAPAS**

Cuando el fluido utilizado por todo el sistema de refrigeración en cascada es el mismo, el intercambiador de calor entre las etapas puede sustituirse por una cámara de mezclado (llamada cámara de vaporización instantánea), puesto que tiene mejores características de transferencia de calor.

A dichos sistemas se les denomina *sistemas de refrigeración por compresión de múltiples etapas*. Un sistema de refrigeración por compresión de dos etapas se muestra en la figura siguiente.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



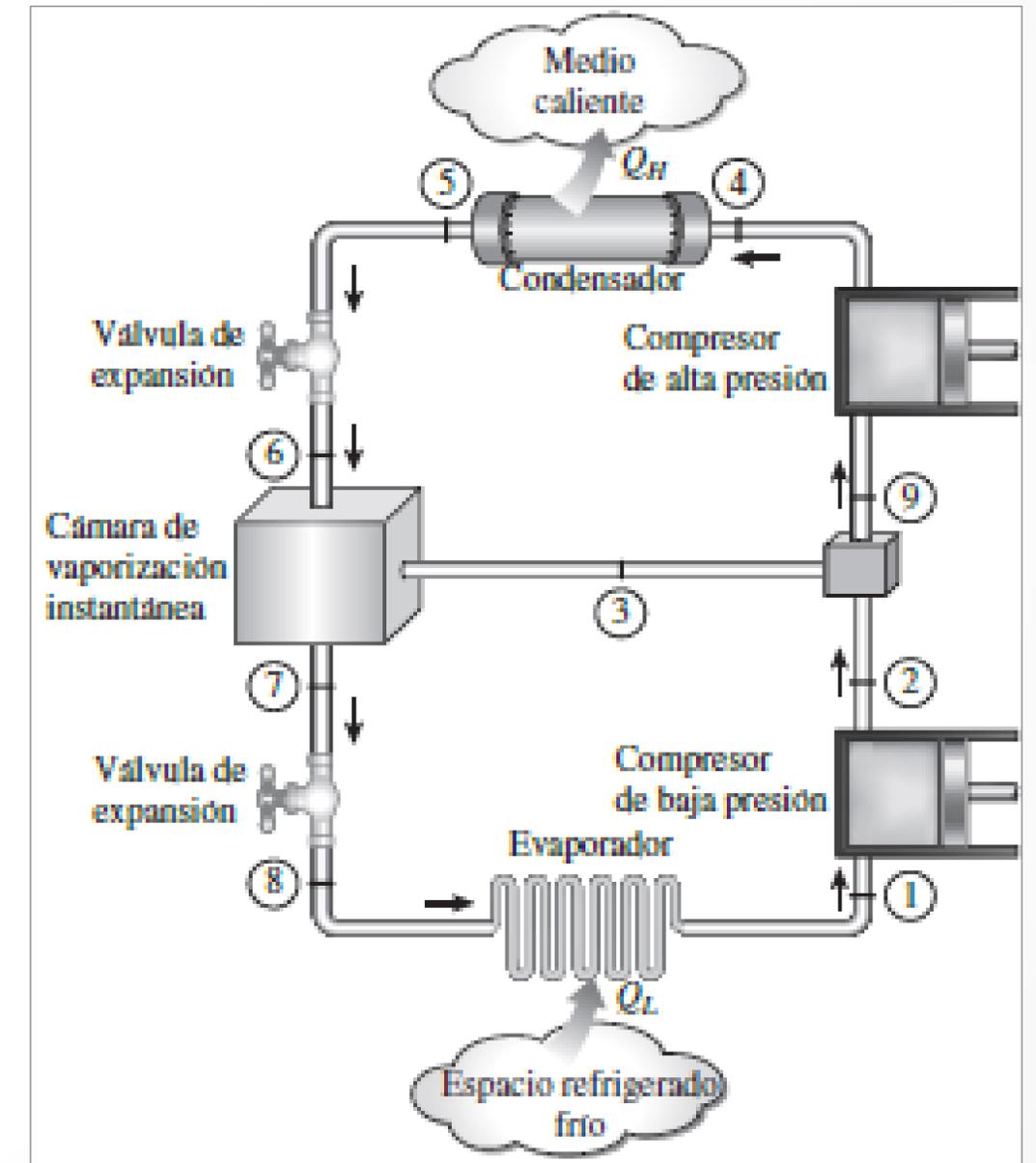
Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR

## **SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE MÚLTIPLES ETAPAS**

En este sistema, el refrigerante líquido se expande en la primera válvula de expansión hasta la presión de la cámara de vaporización instantánea, que es la misma que la presión entre las etapas del compresor. Parte del líquido se evapora durante este proceso. Este vapor saturado (estado 3) se mezcla con el vapor sobrecalentado del compresor de baja presión (estado 2), y la mezcla entra al compresor de presión alta en el estado 9. Esto es, en esencia, un proceso de regeneración.

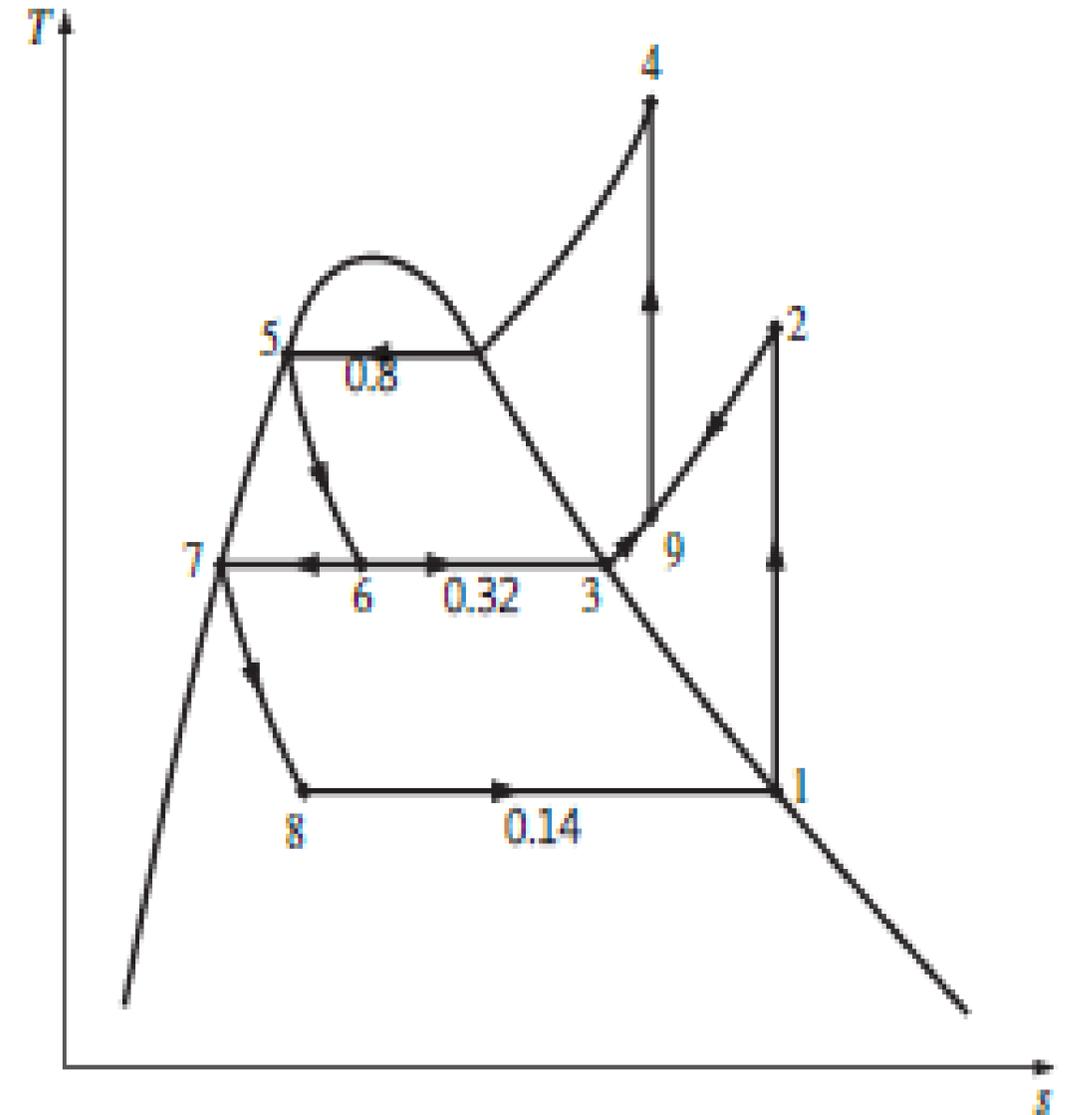


# SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR

## **SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE MÚLTIPLES ETAPAS**

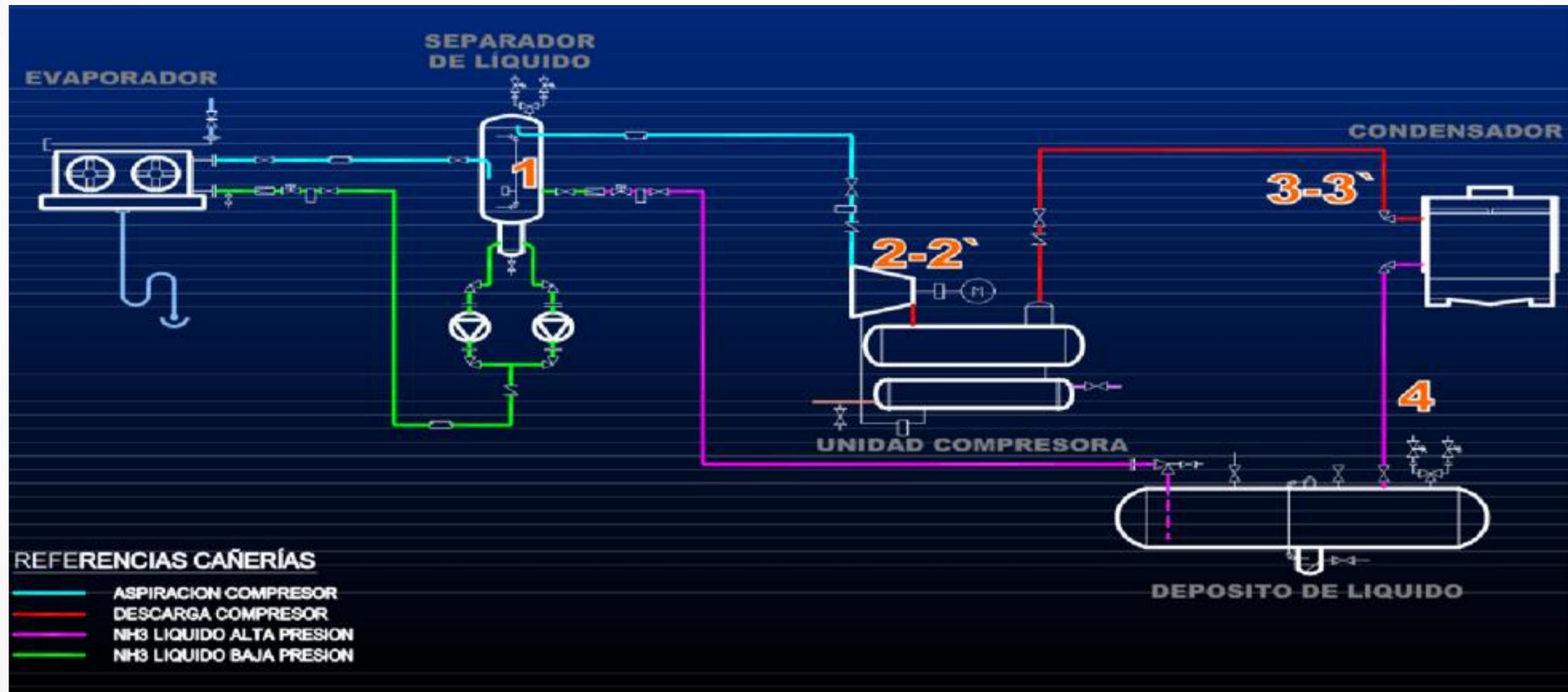
El líquido saturado (estado 7) se expande a través de la segunda válvula de expansión hacia el evaporador, donde recoge calor del espacio refrigerado.

*El proceso de compresión en este sistema es similar a una compresión de dos etapas con interenfriamiento, y el trabajo del compresor disminuye. Debe tenerse cuidado en las interpretaciones de las áreas en el diagrama T-s en este caso, dado que los flujos máxicos son diferentes en las distintas fases del ciclo.*



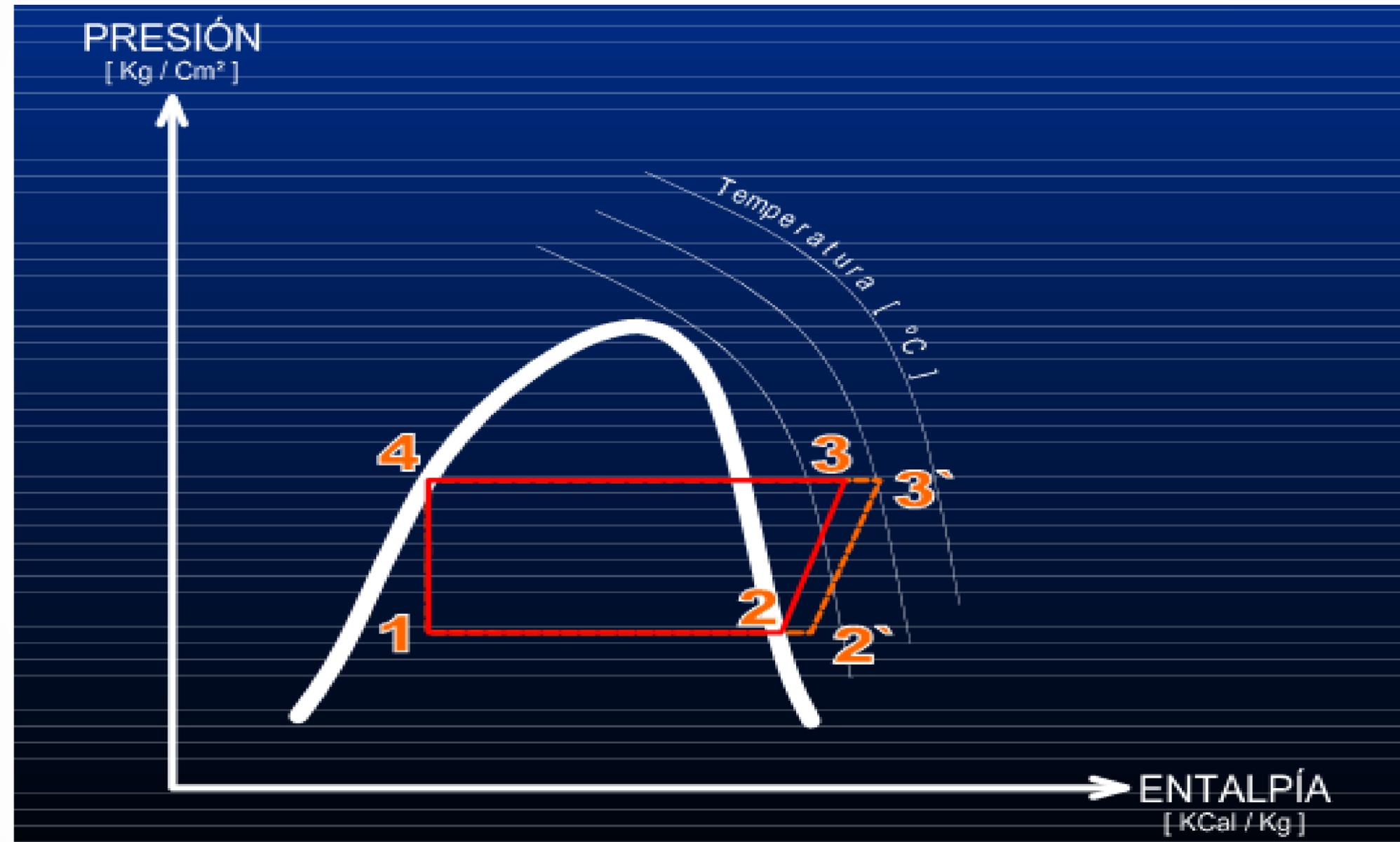
# SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR

## ESQUEMA FRIGORÍFICO SIMPLE ETAPA



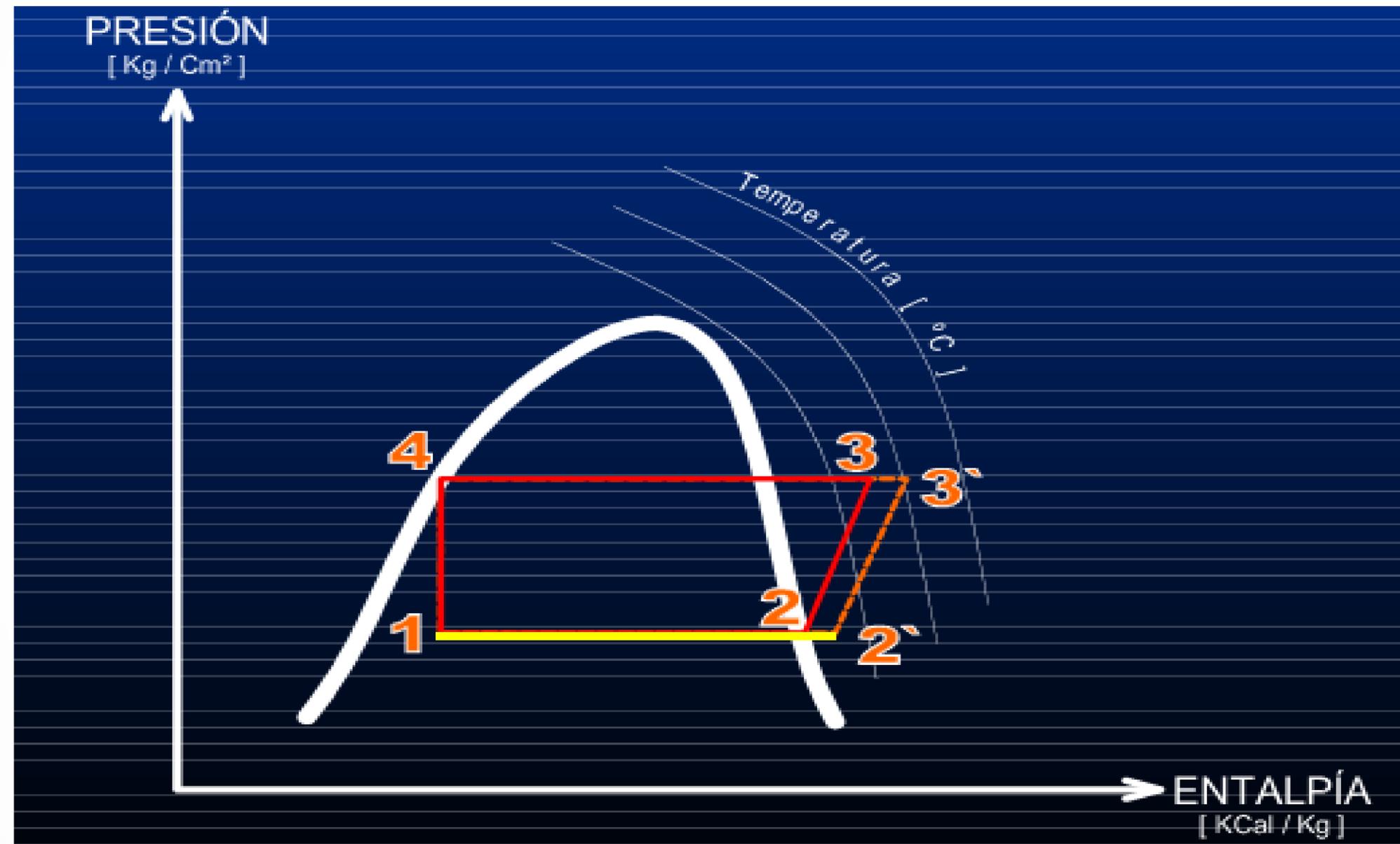
# SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR

## DIAGRAMA P-I CICLO SIMPLE ETAPA



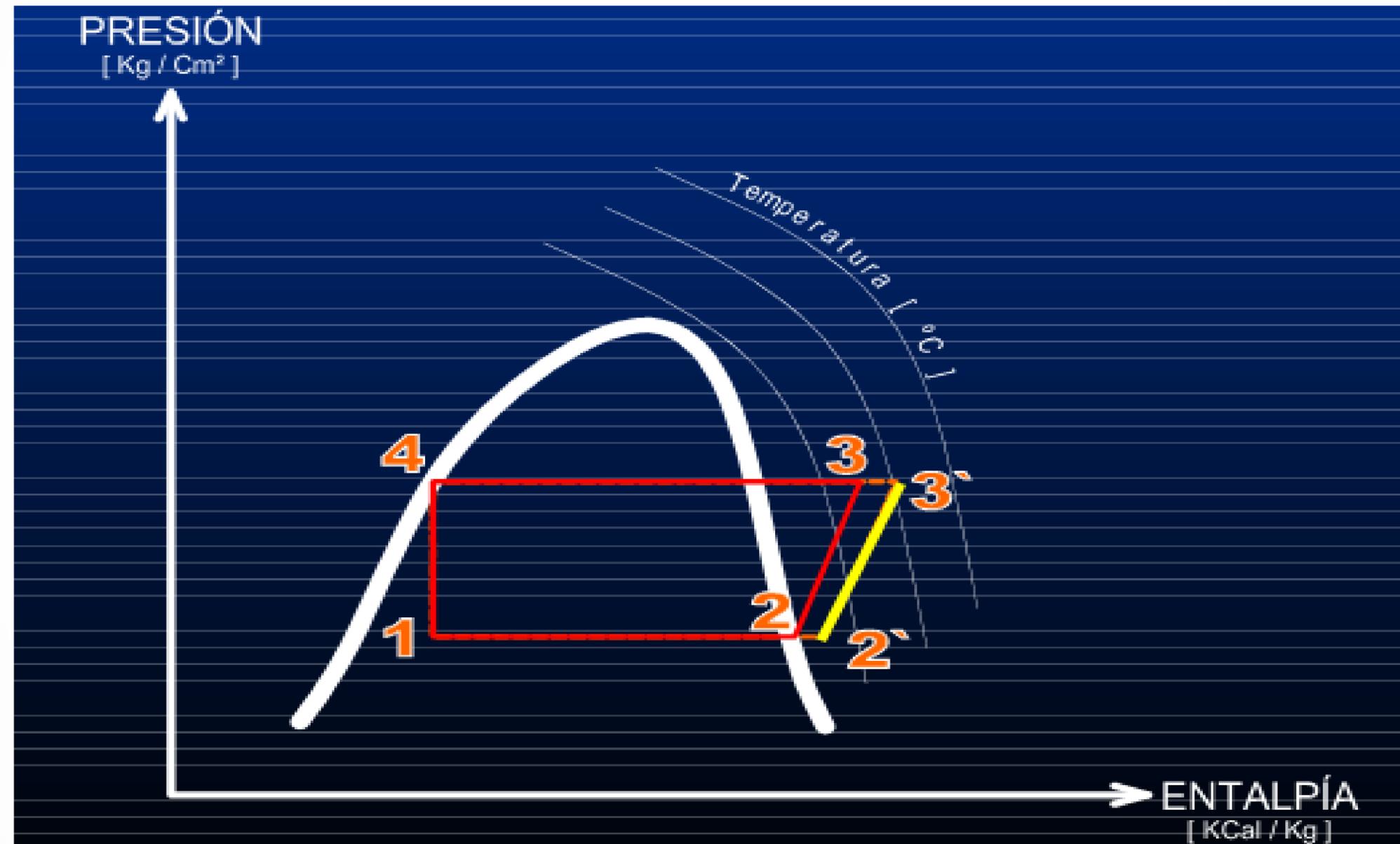
# SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR

## DIAGRAMA P-I CICLO SIMPLE ETAPA - EVAPORACIÓN



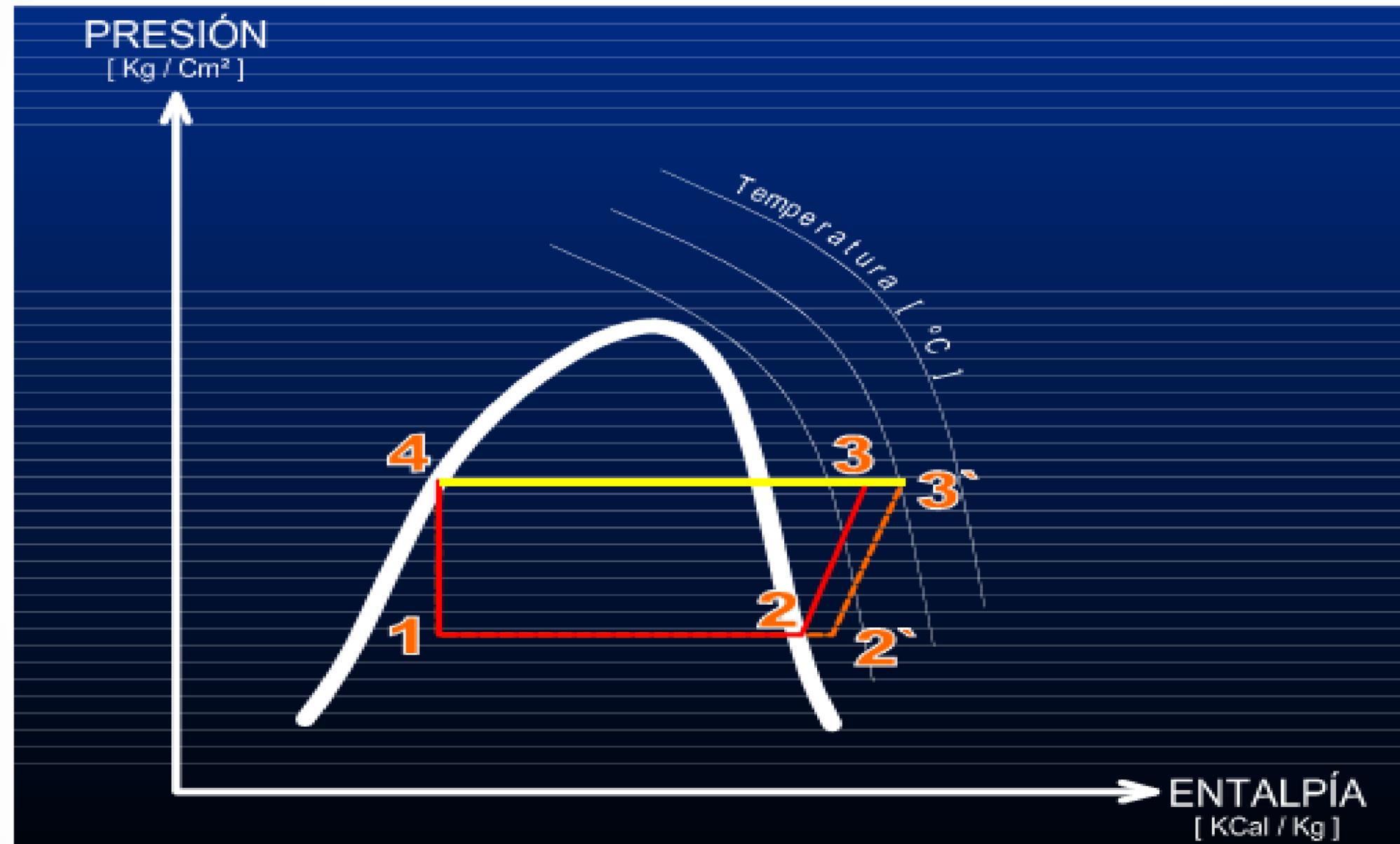
# SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR

## DIAGRAMA P-I CICLO SIMPLE ETAPA - COMPRESIÓN



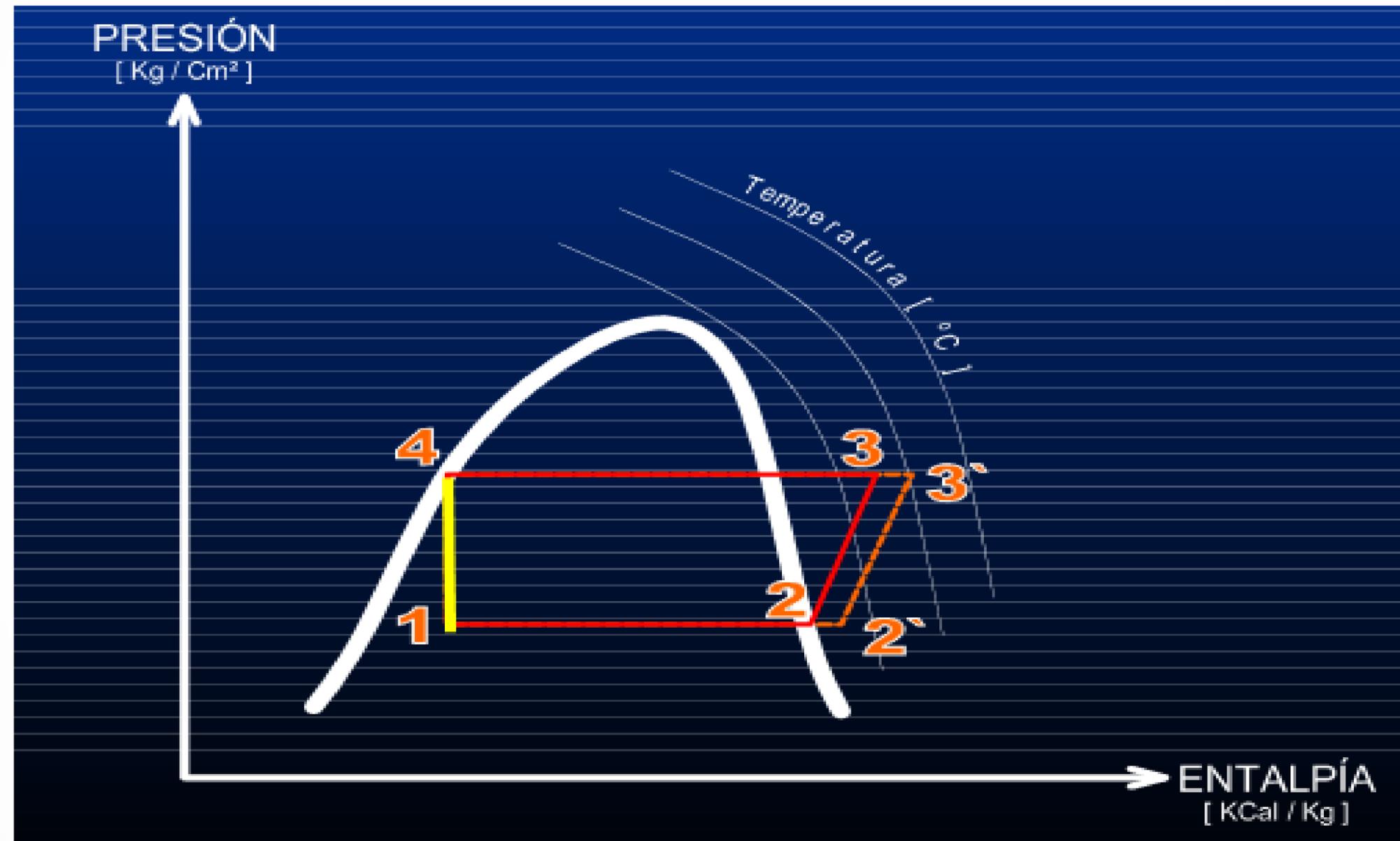
# SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR

## DIAGRAMA P-I CICLO SIMPLE ETAPA - CONDESACIÓN



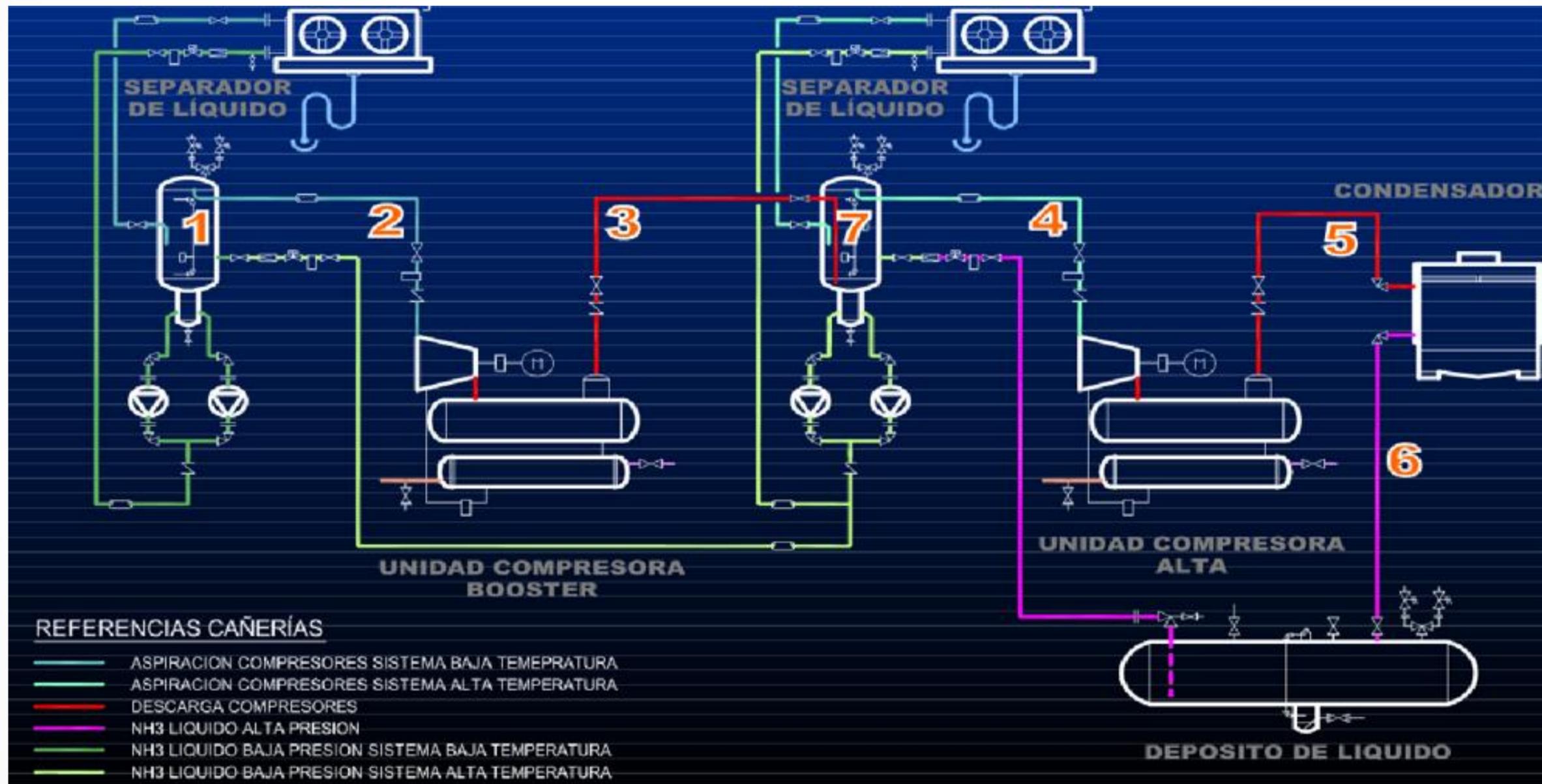
# SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR

## DIAGRAMA P-I CICLO SIMPLE ETAPA - EXPANSIÓN



# SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR

## ESQUEMA FRIFORÍFICO DOBLE ETAPA



# SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR

## DIAGRAMA DOBRE ETAPA

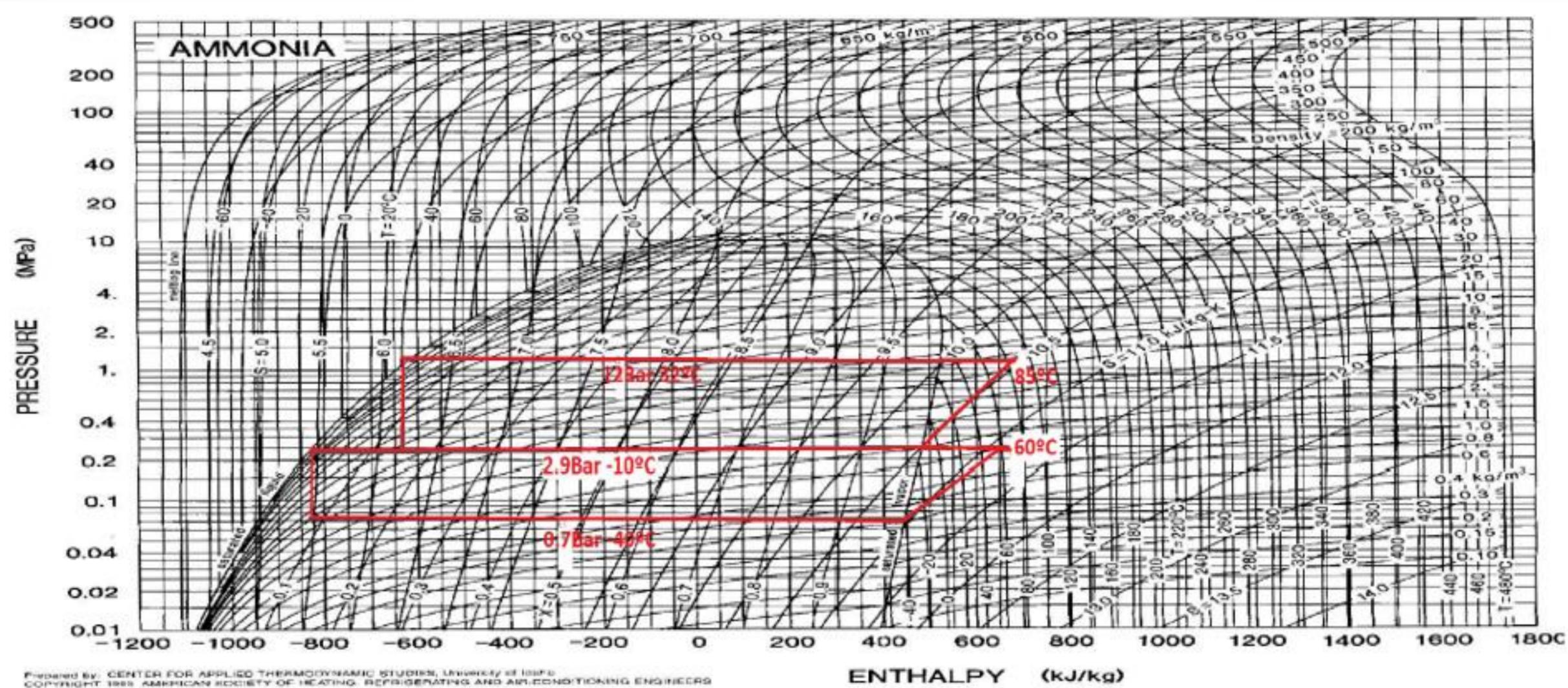
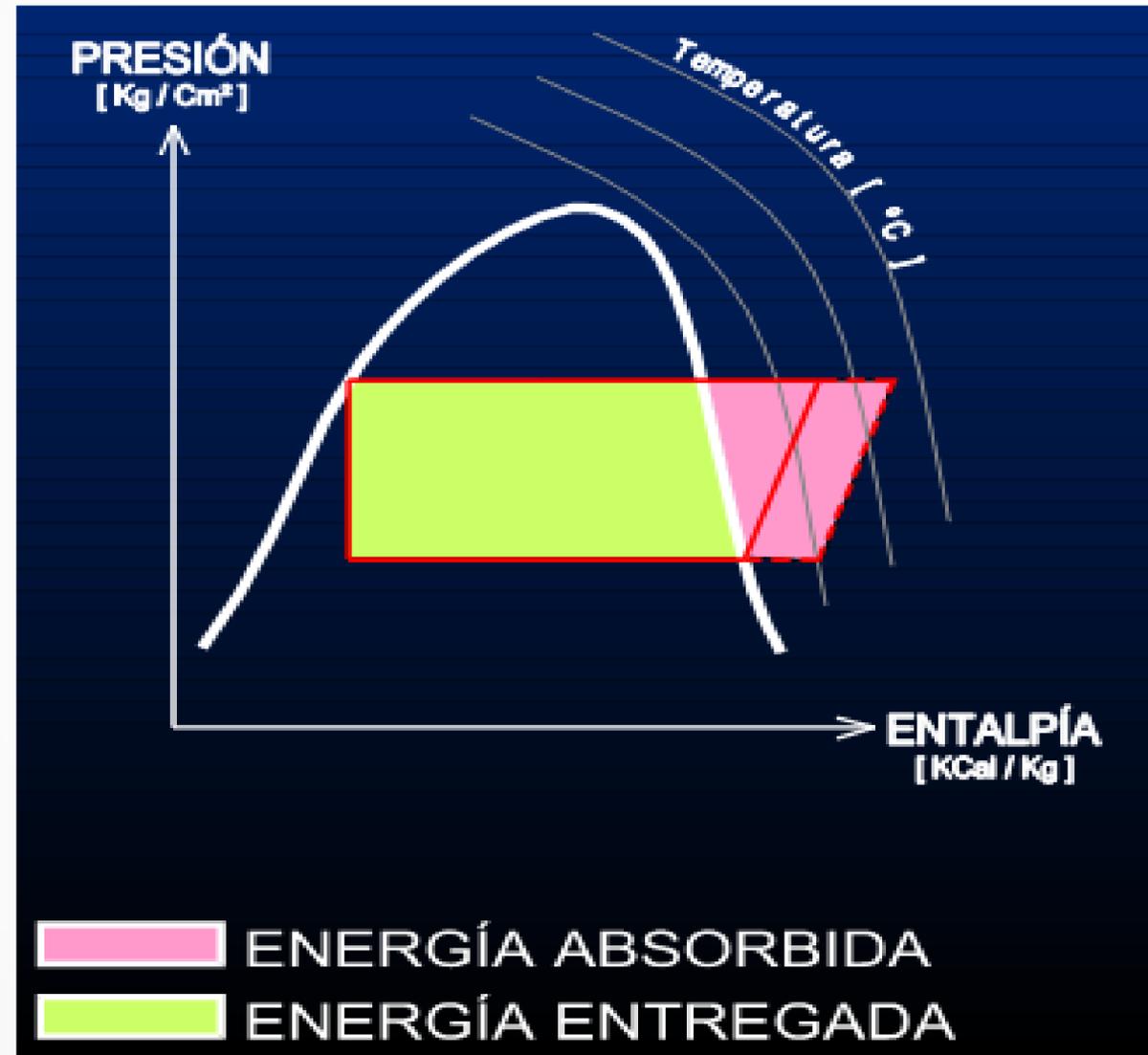


Diagrama P-h para el refrigerante 717 (Amoníaco)

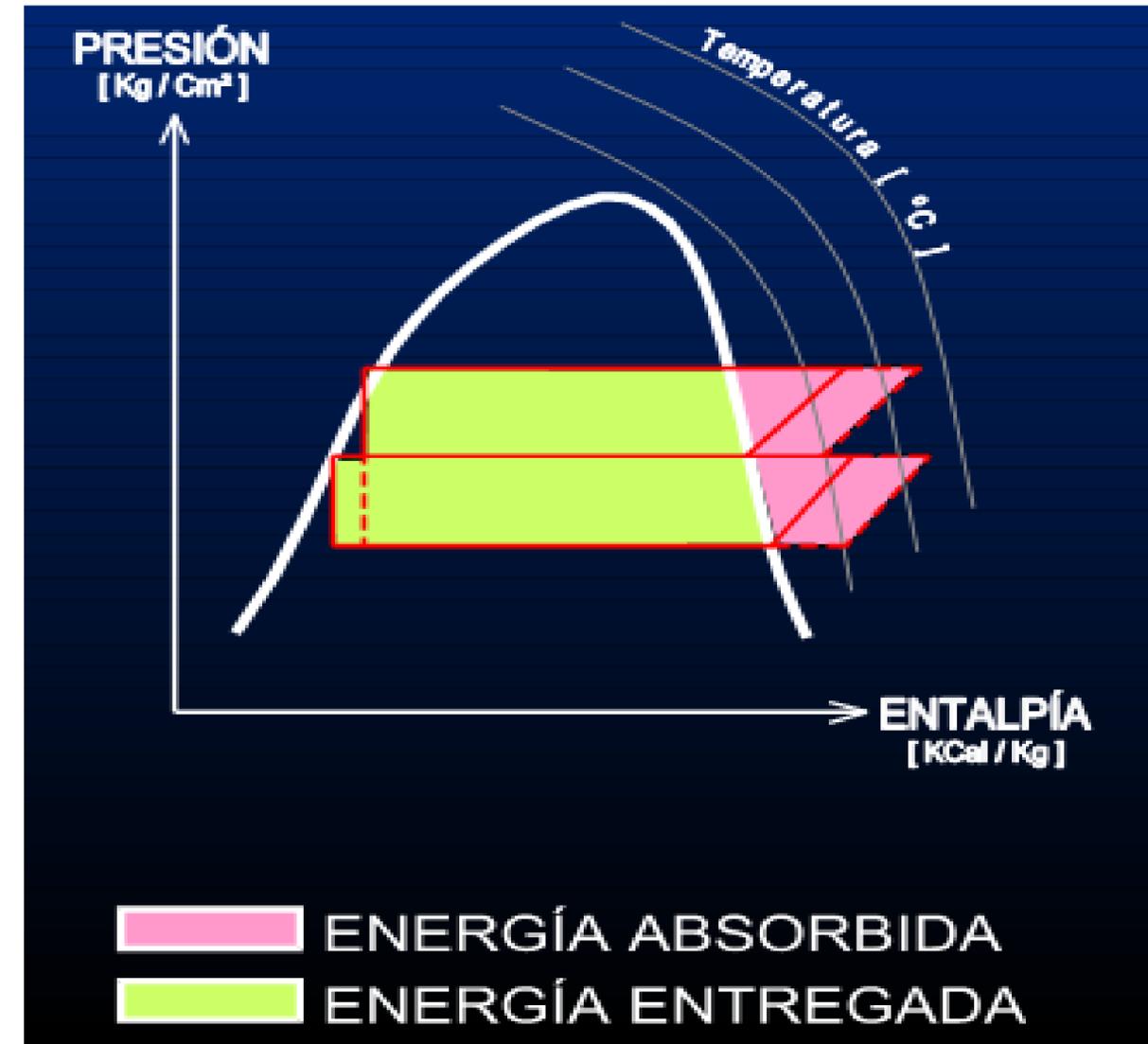
# SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR

## REPRESENTACIÓN DE ENERGÍAS

### COMPRESIÓN EN SIMPLE ETAPA

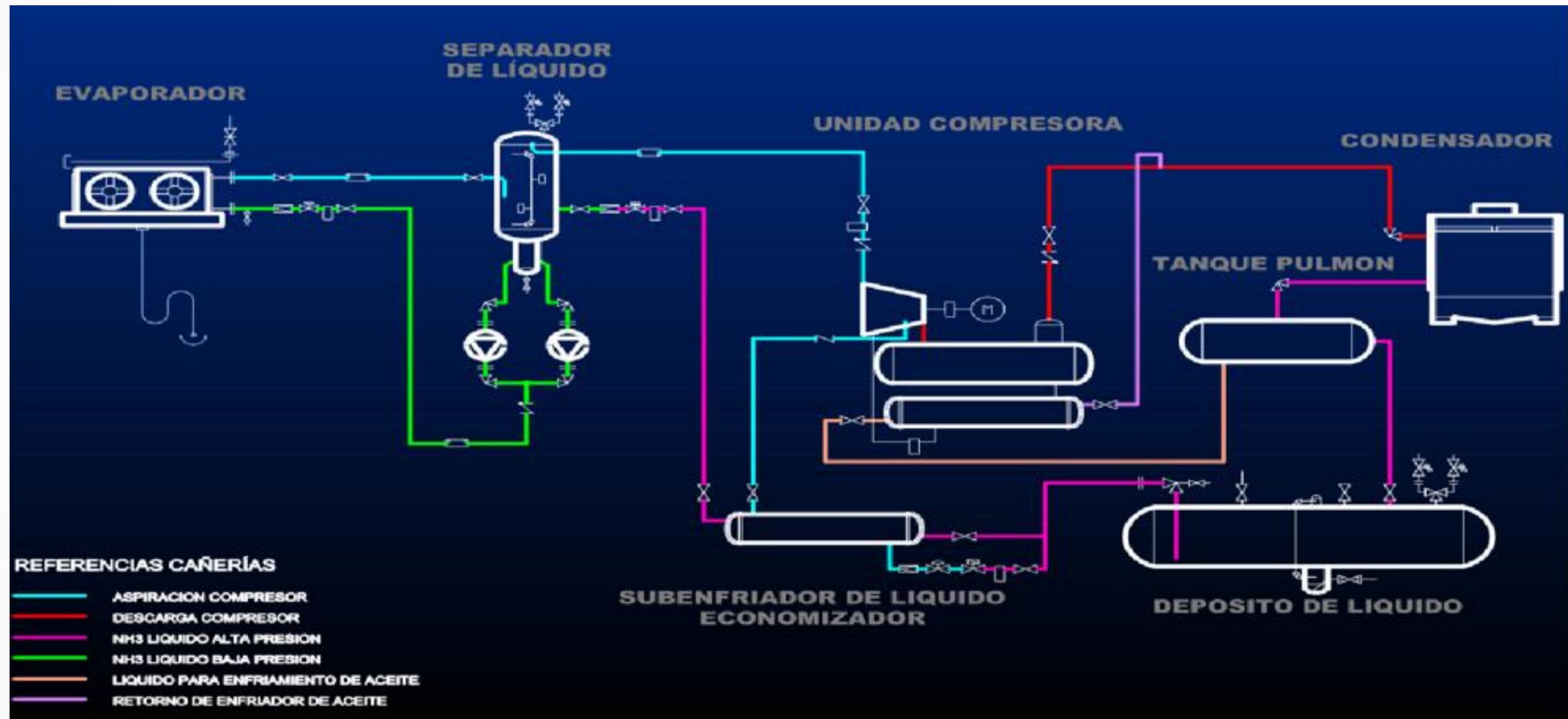


### COMPRESIÓN EN DOBLE ETAPA



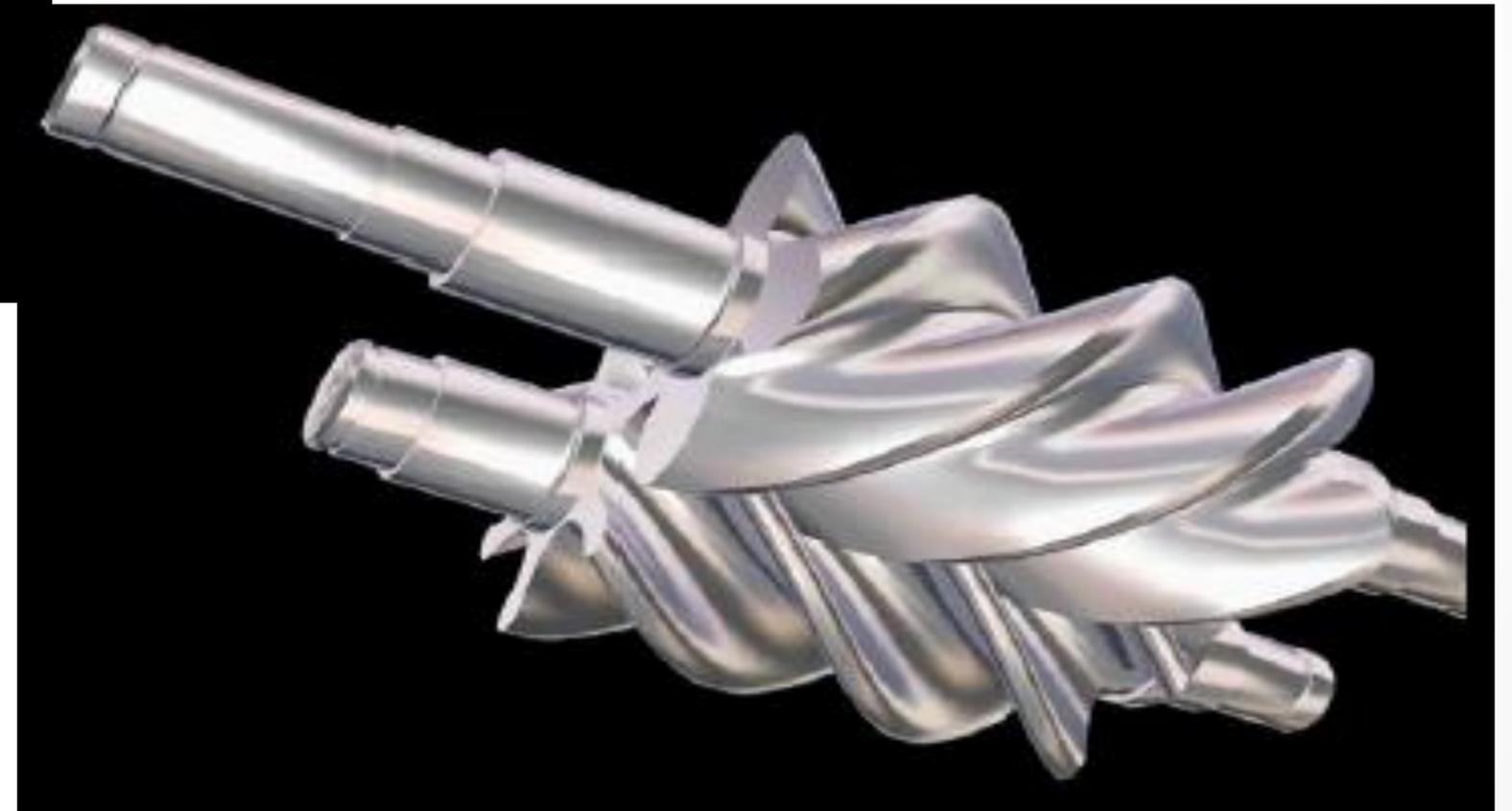
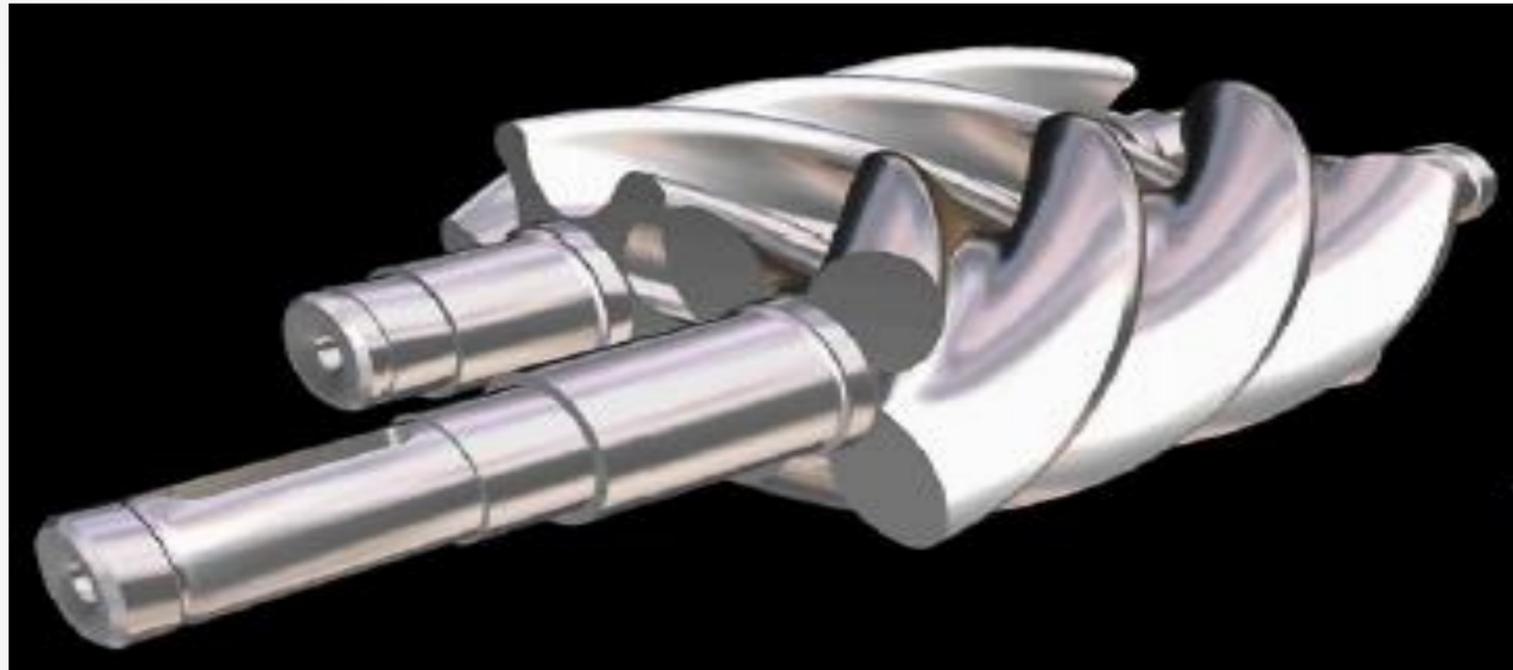
# SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR

## ESQUEMA FRIGORÍFICO - SISTEMA ECONOMIZADOR



# COMPONENTES DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

## COMPRESIÓN MEDIANTE TORNILLOS - PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe

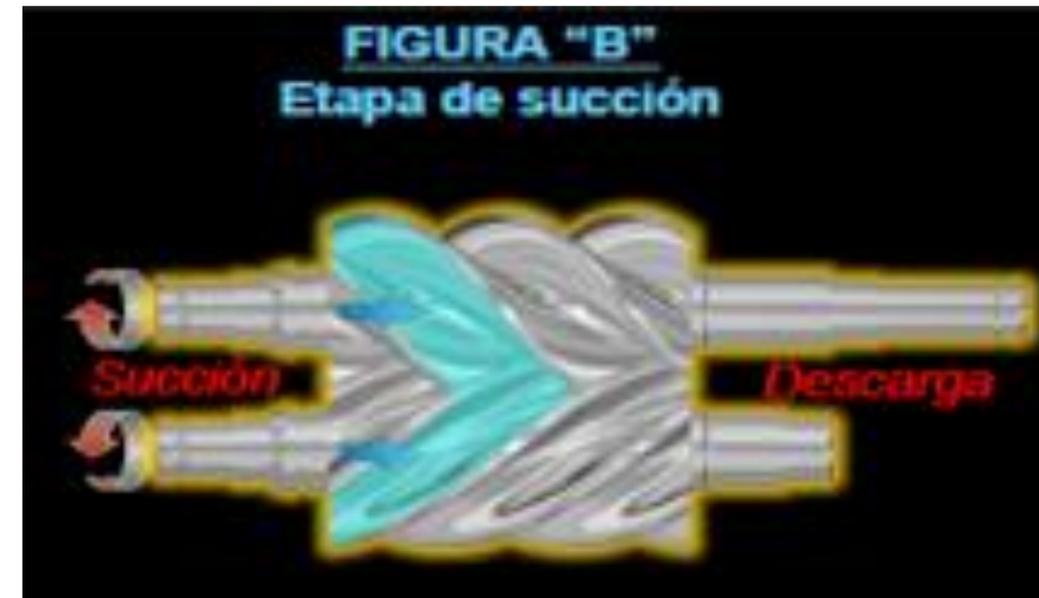


Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



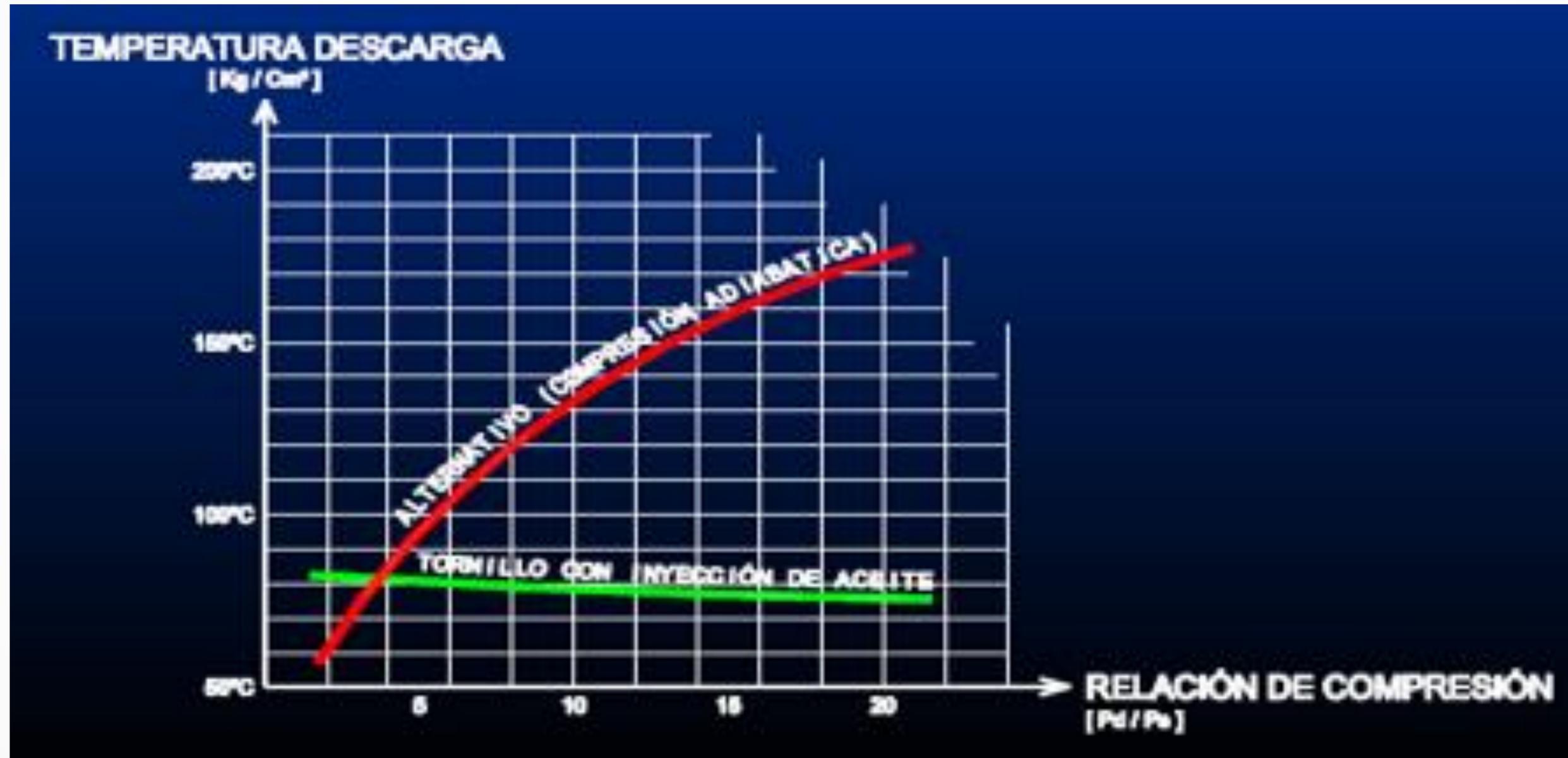
# COMPONENTES DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

## COMPRESIÓN MEDIANTE TORNILLOS - PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO



# COMPONENTES DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

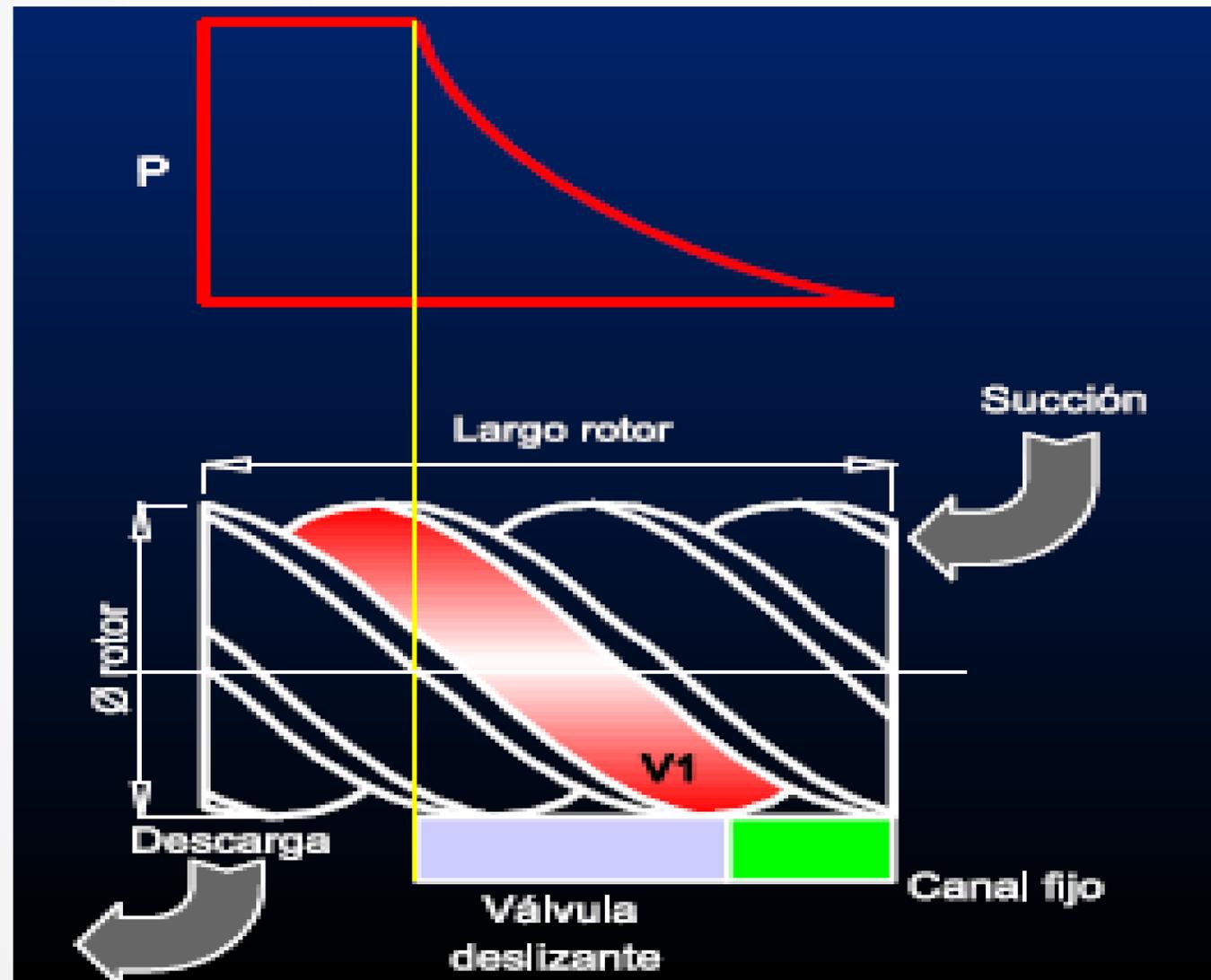
## COMPARACIÓN TEMP. DE DESCARGA: COMPRESORES A TORNILLO VS. ALTERNATIVOS



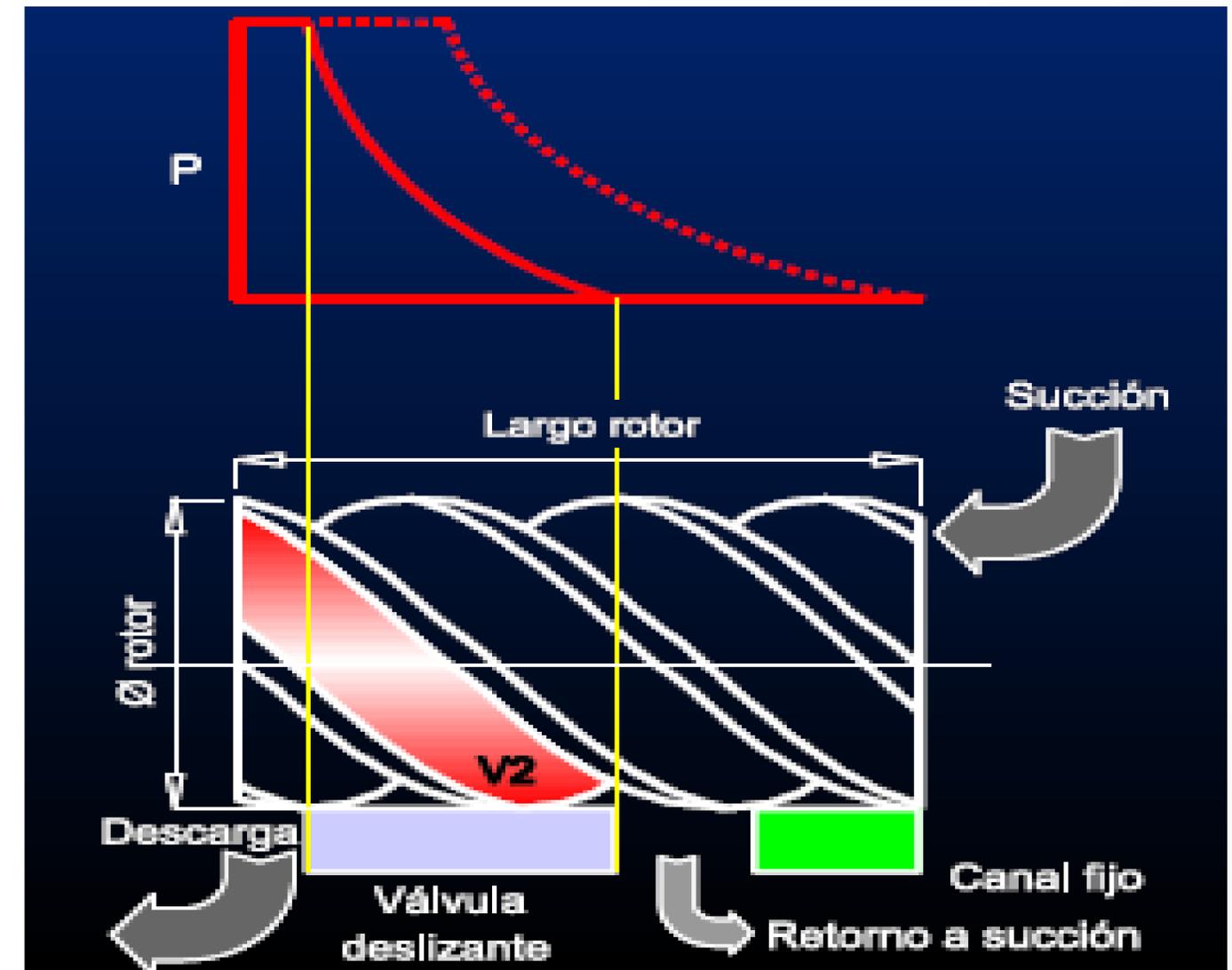
# COMPONENTES DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

## CONTROL DE CAPACIDAD

PLENA CARGA



CARGA PARCIAL



# COMPONENTES DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

## ***SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE ACEITE***

- Mediante líquido de alta presión.
- Por inyección de  $\text{NH}_3$  al compresor.
- Mediante agua de circuito externo.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe

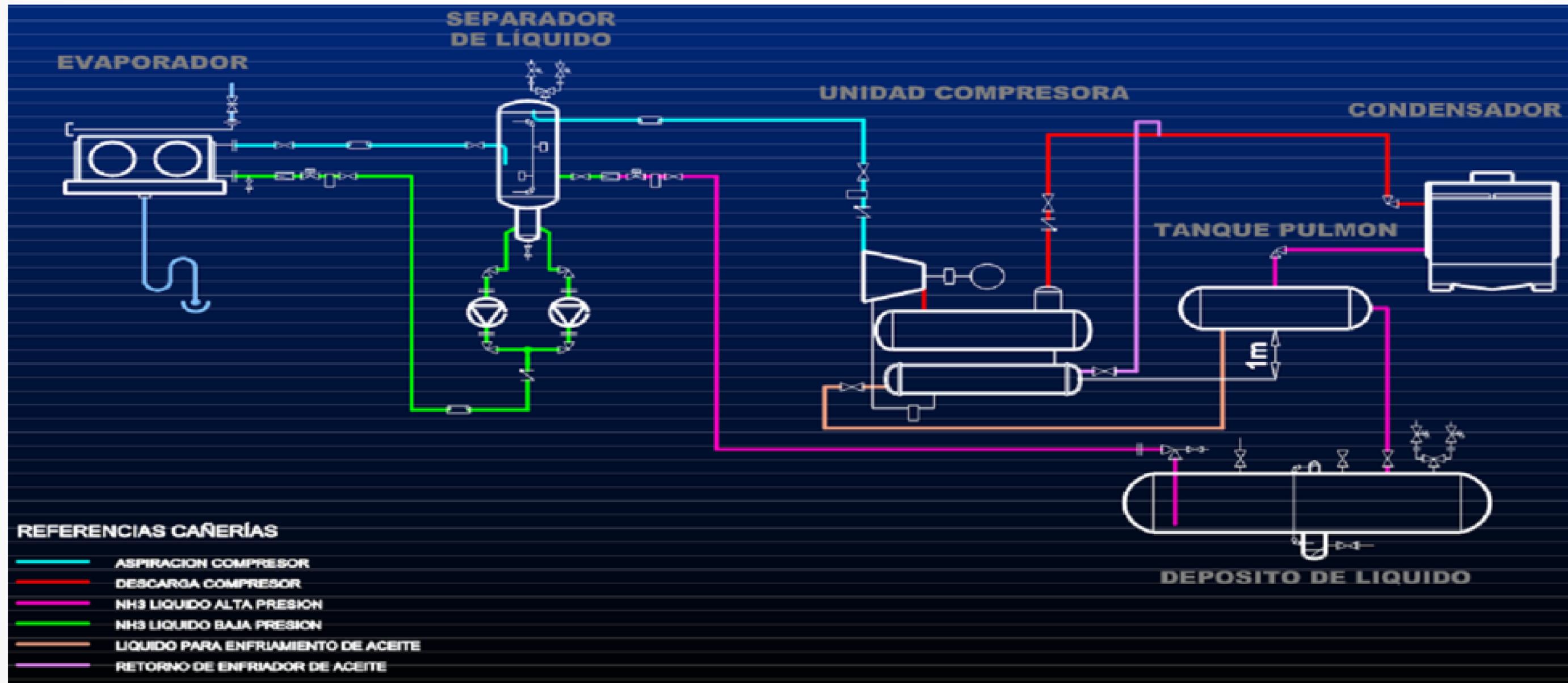


Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



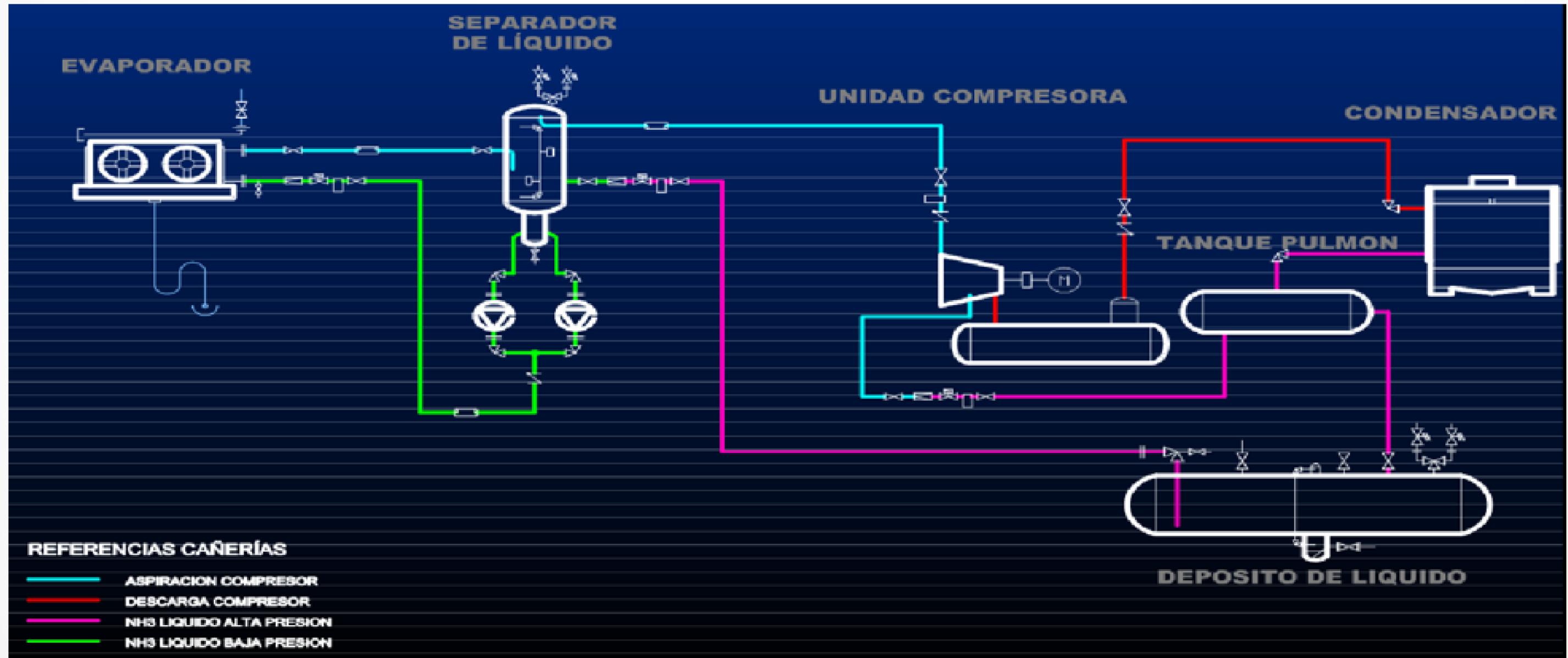
# COMPONENTES DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

## SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE ACEITE: MEDIANTE LÍQUIDO DE ALTA PRESIÓN



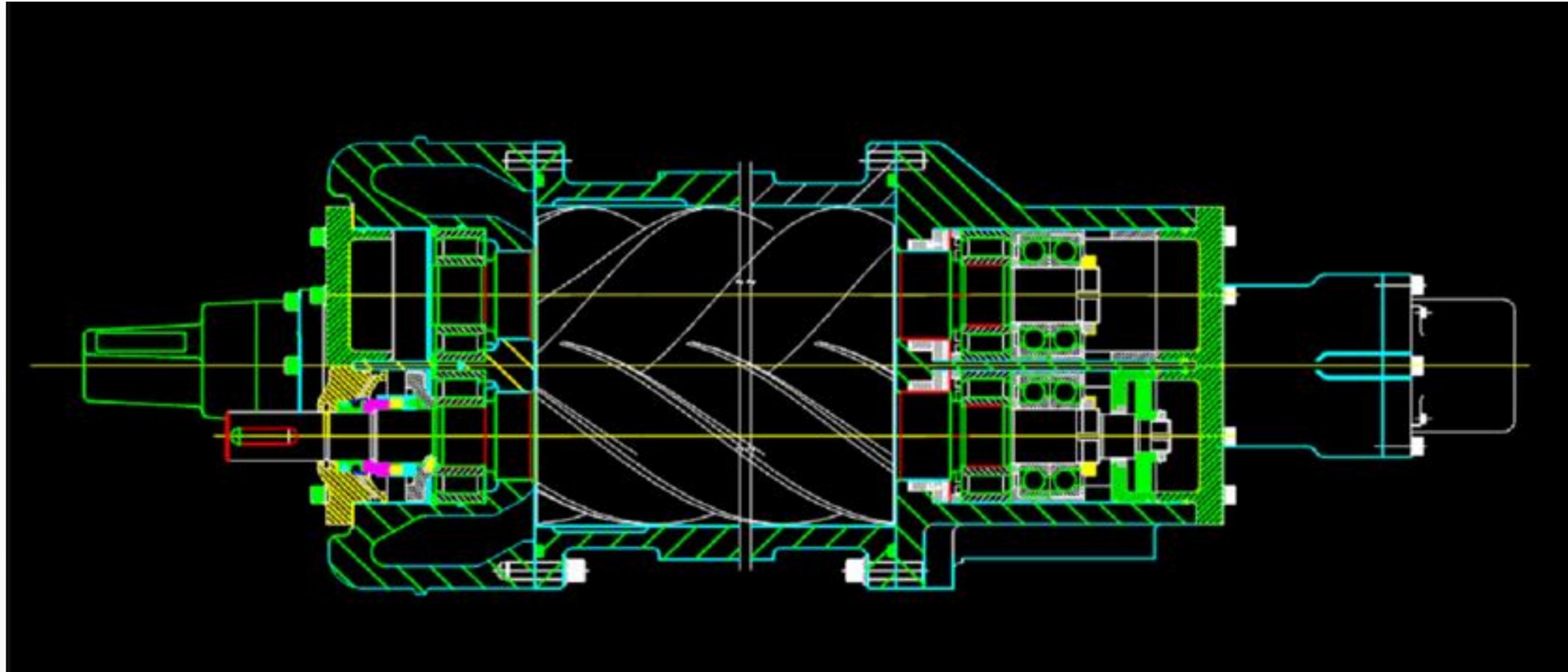
# COMPONENTES DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

## SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE ACEITE: POR INYECCIÓN DE NH<sub>3</sub> AL COMPRESOR



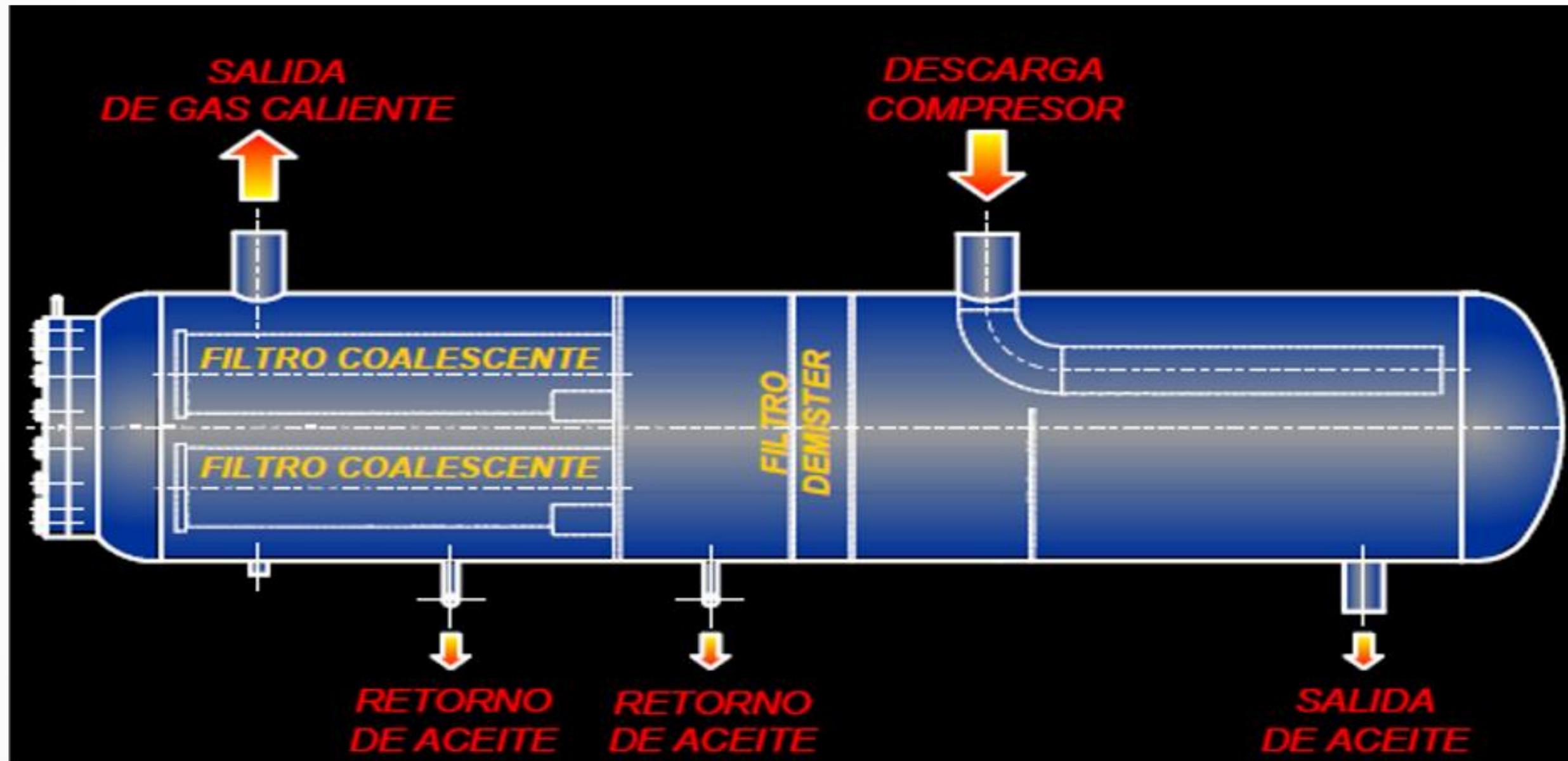
# COMPONENTES DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

## RODAMIENTOS



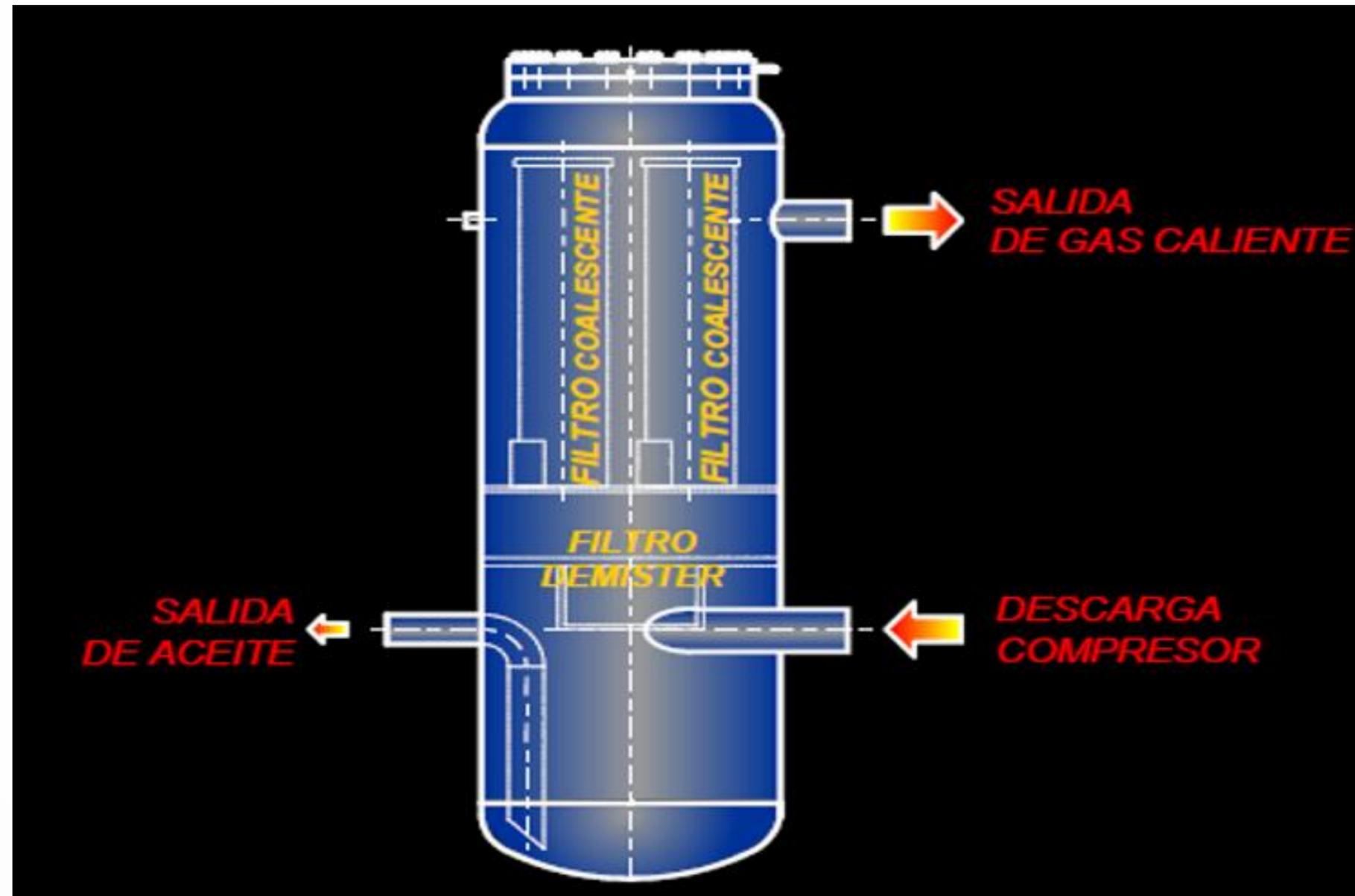
# COMPONENTES DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

## SEPARACIÓN DE ACEITE: HORIZONTAL



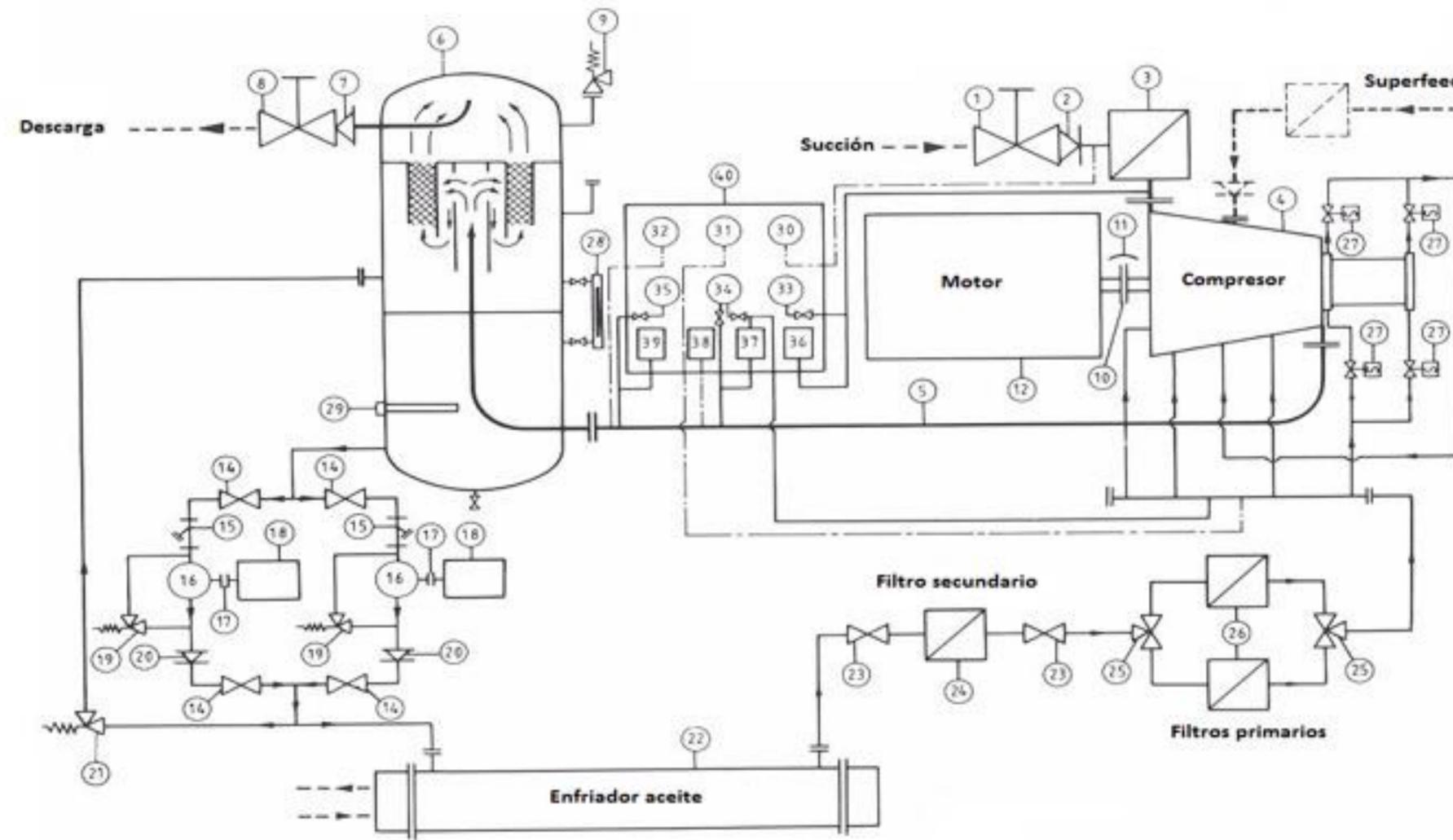
# COMPONENTES DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

## SEPARACIÓN DE ACEITE: VERTICAL



# COMPONENTES DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

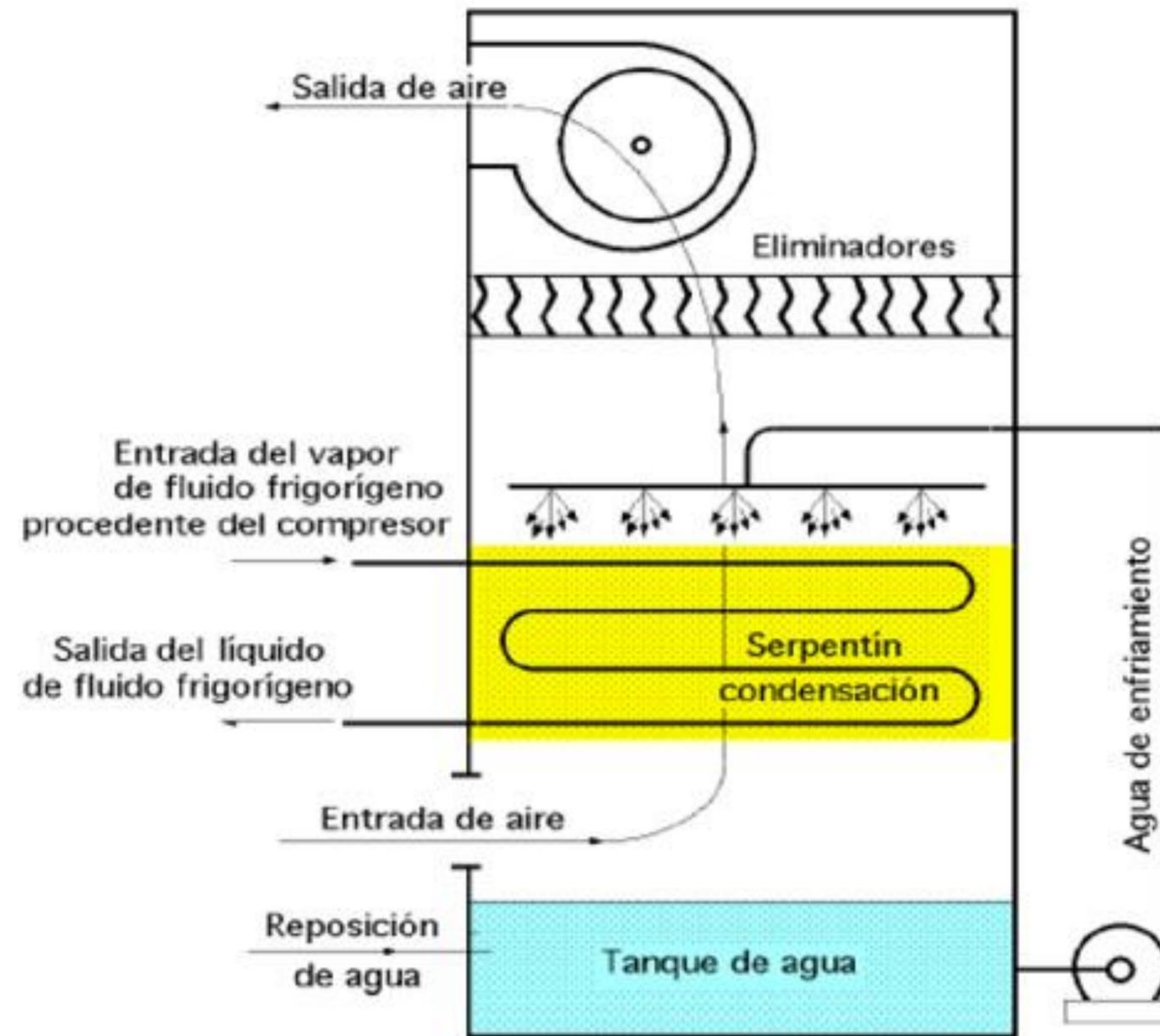
## CIRCUITO COMPRESOR A TORNILLO



1. Válvula de succión
2. Válvula de retención
3. Filtro de succión
4. Compresor a tornillo
5. Caño de descarga gas comprimido
6. Tanque separador aceite /gas
7. Válvula de retención a la descarga
8. Válvula de descarga hacia condensadores
9. Válvula de seguridad
10. Acoplamiento de láminas
11. Cubre acoplamiento
12. Motor principal
13. Base ( no mostrada)
14. Válvula del circuito de aceite
15. Filtro de aceite
16. Bomba de aceite
17. Acoplamiento
18. Motor eléct. bomba de aceite
19. Válvula de alivio aceite
20. Válvula de retención de aceite
21. Válvula controladora de presión de aceite
22. Enfriador de aceite
23. Válvula de aceite
24. Filtro de aceite simple
25. Válvula de tres vias
26. Filtros dobles
27. Válvula solenoide
28. Indicador nivel de aceite
29. Calefactor de aceite con termostato
30. Termómetro de succión
31. Termómetro de aceite
32. Termómetro de descarga
33. Manómetro de succión
34. Manómetro de presión diferencial aceite /gas
35. Manómetro presión de descarga
36. Disparo presión succión
37. Disparo por bajo diferencial de presión aceite/gas
38. Disparo por alta temperatura descarga
39. Disparo por alta presión de descarga
40. Tablero de control.

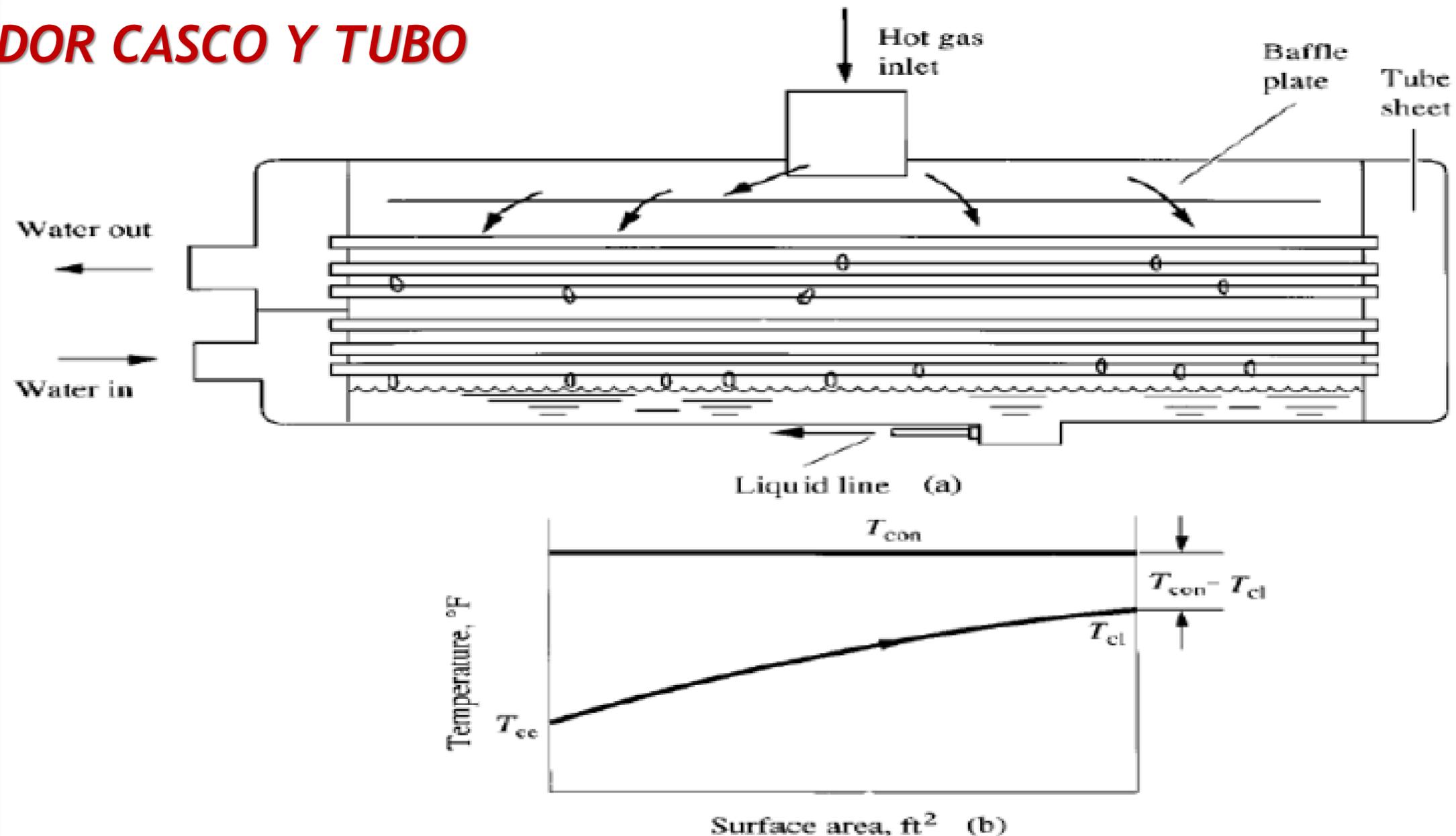
# COMPONENTES DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

## CONDENSADOR EVAPORATIVO



# COMPONENTES DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

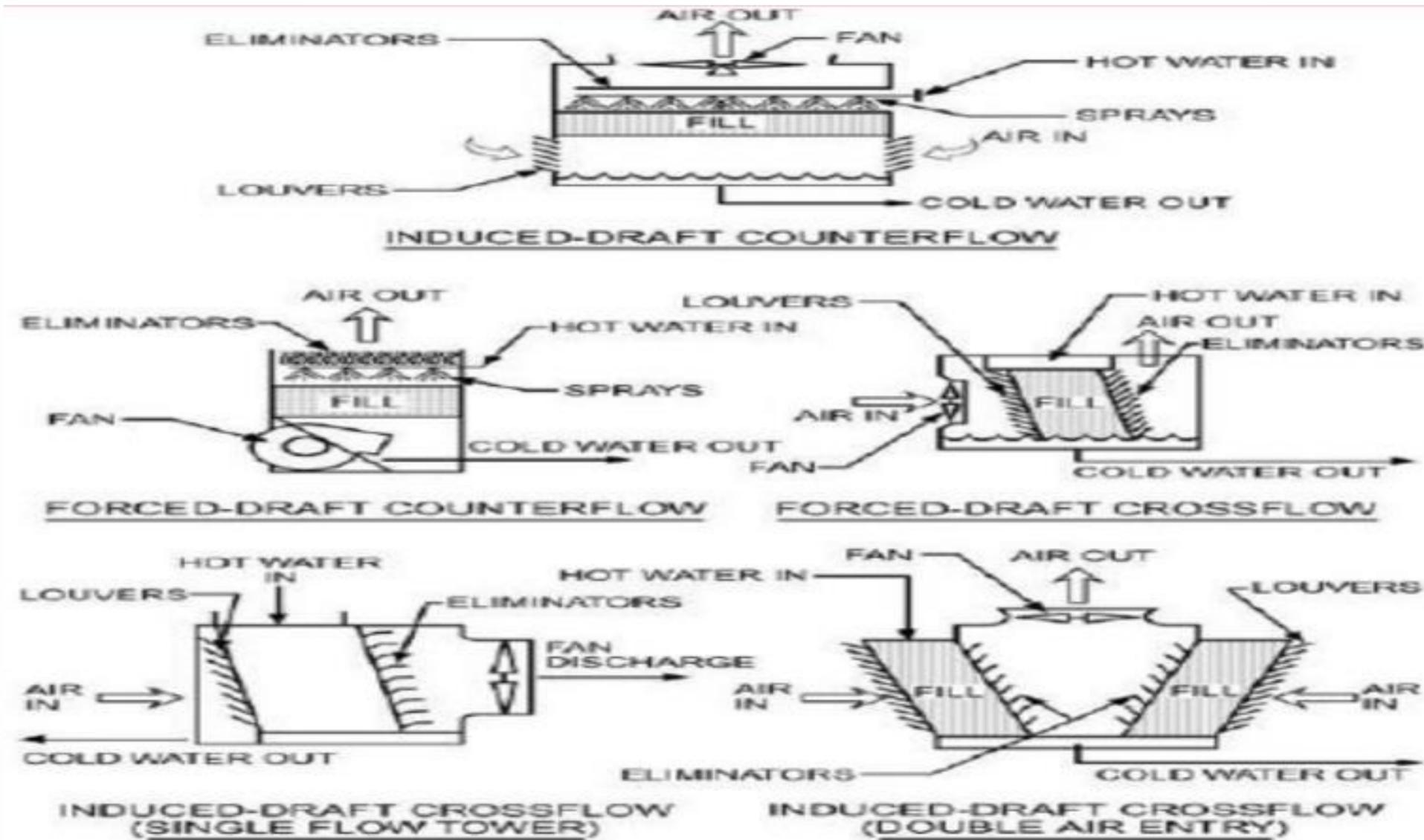
## CONDENSADOR CASCO Y TUBO



Shell-and-tube condenser with two-pass water flow arrangement: (a) schematic diagram; (b) heat transfer.

# COMPONENTES DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

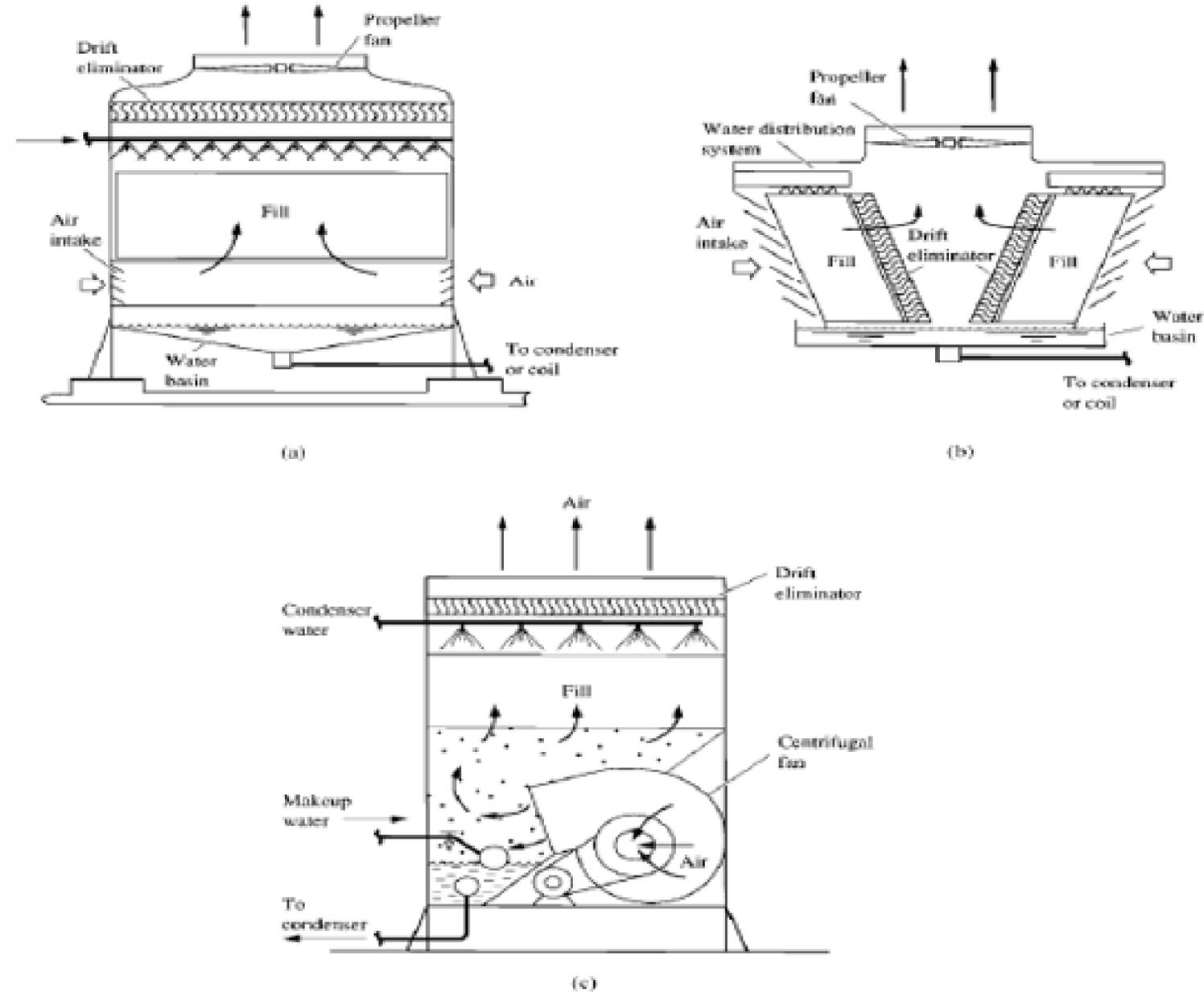
## TORRES DE ENFRIAMIENTO



Torres de refrigeración mecánicas.

# COMPONENTES DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

## TORRES DE ENFRIAMIENTO



# BUENAS PRÁCTICAS EN REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL

## GENERAL

Recomendaciones para una eficiente operación de los sistemas de refrigeración tendientes a lograr economías energéticas:

- ✓ Las oportunidades de ahorro energético deben estar orientadas directamente a **solucionar las causas que provocan un alto consumo**, producto de la pérdida de eficiencia del equipo por obsolescencia tecnológica o los malos hábitos en el uso de los equipos, dichas causas pueden ser de diseño e instalación de los equipos o bien en la operación del mismo.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# BUENAS PRÁCTICAS EN REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL

## COMPRESOR

1. Tener un **correcto dimensionamiento** del compresor, la capacidad instalada debe ser igual a la demandada lo que se logra ajustando la capacidad de los mismos.
2. Optimizar las presiones reduciendo las diferencias entre las presiones de succión y condensación.
3. Evaluar **instalar variador de frecuencia** así el compresor opera según capacidad demandada.
4. Control **multi-etapas**, es decir instalar compresores en cascada.
5. Utilizar preferiblemente compresores de tornillo.
6. Aplicar protocolos de mantenimiento, asegurar **limpieza** de los filtros de succión.
7. Optimizar el funcionamiento del enfriador de aceite.
8. **Minimizar carry over de aceite** utilizando aceites semi sintéticos o sintéticos ahorrando litros de aceite consumido y evitando el aceitado del sistema (aislación por aceite).



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# BUENAS PRÁCTICAS EN REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL

## CONDENSADOR

1. Es recomendable el uso de Condensadores Evaporativos de aire inducido frente a los presurizados.
2. Cuando el agua lo permite.(disponibilidad y calidad) **utilizar casco y tubos y torres.**
3. Tener un correcto dimensionamiento de intercambiadores de calor, en lo posible **sobredimensionar** el condensador.
4. Manejo de la capacidad del condensador de acuerdo con lo requerido por el sistema, **minimizando la temperatura de condensación.**
5. Control de etapas por marcha de ventiladores, la capacidad del condensador se puede **manejar controlando la velocidad** de sus ventiladores.
6. En NH3 tratar de operar en valores que no superen los **10 Bar ya que por cada 1 Bar de sobrepresión se gasta en demasía 10 % de potencia extra.**



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



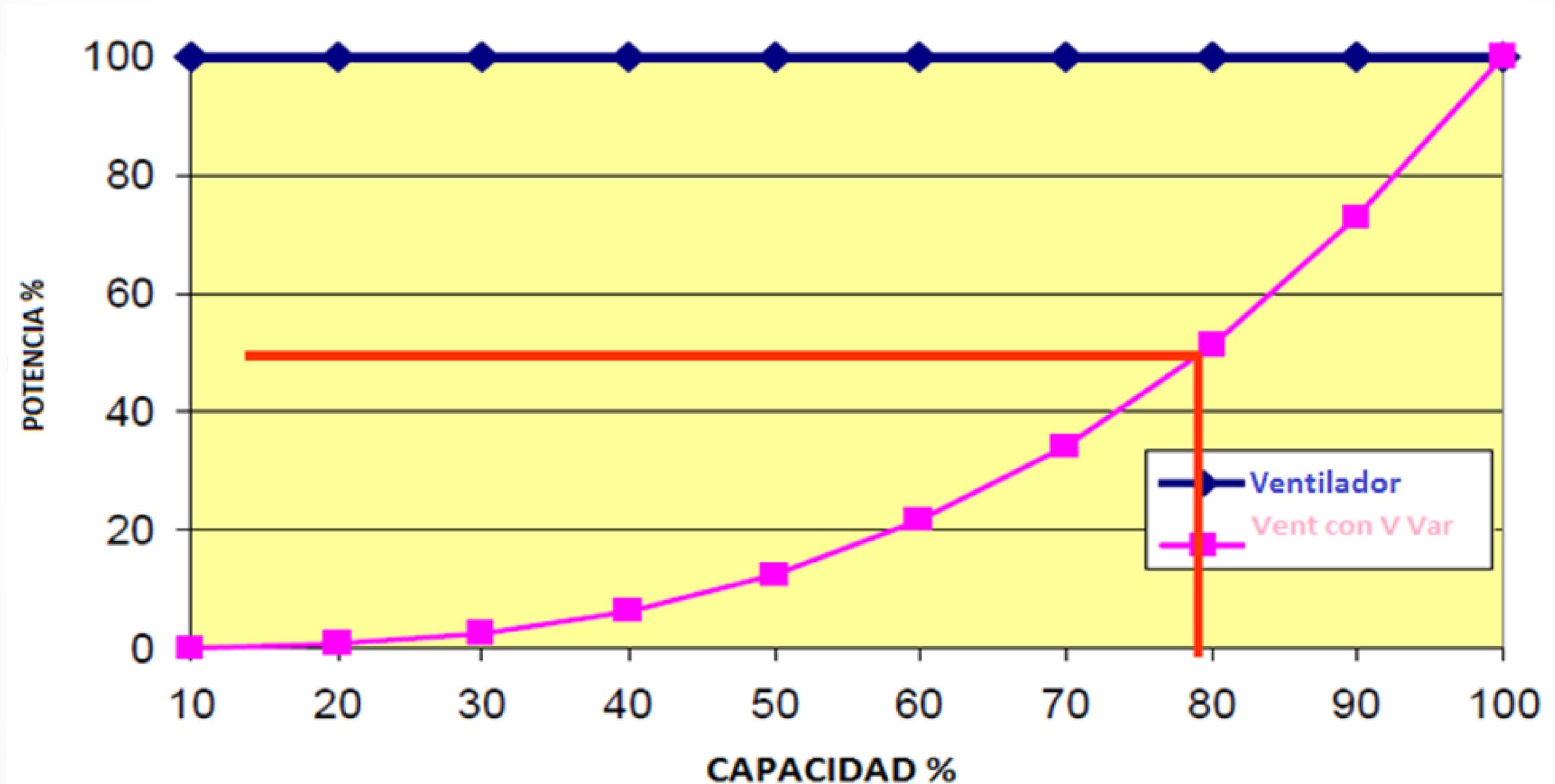
# BUENAS PRÁCTICAS EN REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL

## CONDENSADOR

7. Disminuir **la presión de condensación elevada** a causa de excesiva humedad y temperatura ambiente alta, asegurando buen riego del agua de recirculación y rociado.
8. Tratar incrustación en la superficie de los tubos intercambiadores. 9-Asegurar **buen movimiento** de aire en los ventiladores de la torre. Evitar corto circuitos de aire producidos por ventiladores parados.
9. La incidencia de **gases in-condensables** actúa como aislante térmico e incide en las presiones parciales disminuyendo su capacidad de condensación, por lo que **aumenta la potencia** consumida por los compresores. Se corrige por la adición de purgadores automáticos de gases convenientemente instalados.
10. En el tipo casco y tubos asegurar buen flujo de agua de circulación. Controlar el salto de temperatura entrada y salida de agua. Verificar grado de incrustación interior de tubos y **mantenerlos limpios**.
11. Crear y aplicar protocolos de mantenimiento y operativos.

# BUENAS PRÁCTICAS EN REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL

## AHORRO DE ENERGÍA EN EL CONDENSADOR

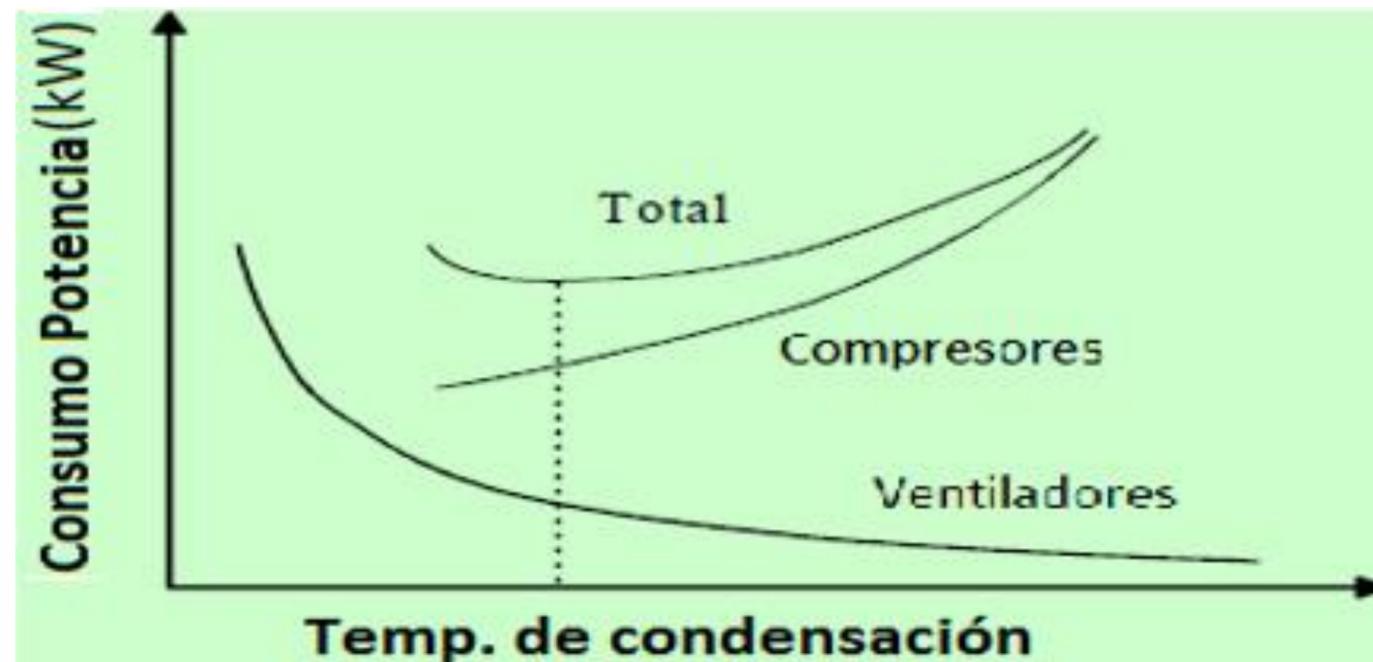


# BUENAS PRÁCTICAS EN REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL

## **VELOCIDAD ÓPTIMA DEL COMPRESOR Y DEL VENTILADOR CONDENSADOR**

Una temperatura de condensación muy baja, resulta en un mayor consumo de potencia de los ventiladores condensadores. Por otro lado, una temperatura muy alta resulta en mayor consumo de potencia de los compresores.

El punto óptimo es aquel representado en la curva, donde el consumo total es mínimo.



# BUENAS PRÁCTICAS EN REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL

## EVAPORADOR

1. Utilizar un sistema de **descongelamiento automático** según capacidad real y minimizar la formación de hielo.
2. Se sugiere **dimensionar los evaporadores** en cámaras para temperaturas sobre cero con delta temperaturas del orden de los 4° C con lo que se evita su congelamiento.
3. Aplicar protocolo de mantenimiento y operativo **drenando el aceite** con frecuencia.
4. Control de velocidad de los ventiladores y que sean **inducidos**. (Aspirados)



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# BUENAS PRÁCTICAS EN REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL

## REFRIGERANTE

1. Selección del **refrigerante adecuado y eficiente** (R134a), o la sustitución de los Freones por R717 (NH<sub>3</sub>) en refrigeración **puede reducir el requerimiento de potencia** hasta un 40% en algunas ocasiones.
2. Adecuar la reposición del refrigerante al eliminar fugas.
3. Tomar **muestras del refrigerante** antes de la descarga del mismo al sistema (calidad).



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# BUENAS PRÁCTICAS EN REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL

## *AISLACIÓN DE CAÑERÍAS*

1. Tener un adecuado diseño de tuberías con el fin de **reducir las pérdidas por fricción**. Evitar sifonados obstructivos.
2. Tener un adecuado aislamiento térmico en todas las tuberías. Asegurar **barreras de vapor** y el recubrimiento exterior mediante chapas engrafadas que las protegen.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# BUENAS PRÁCTICAS EN REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL

## **OTRAS RECOMENDACIONES**

1. Tener un **control automático** de operación inteligente del sistema.
2. Contar con protocolos **de mantenimiento predictivo**.
3. Purgas automáticas en los sistemas que utilicen el R717 (amoníaco) como refrigerante, debido a que las infiltraciones de aire especialmente en los sistemas de baja presión reducen y afectan sus propiedades.
4. Purgar el líquido muerto (agua o aceite) de las instalaciones en los casos de  $\text{NH}_3$ .



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# BUENAS PRÁCTICAS EN REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL

## **ESPACIOS REFRIGERADOS**

1. Asegurar especialmente en los espacios bajo cero la existencia de **antecámaras amplias climatizadas** con evaporadores deshumectadores para minimizar las infiltraciones de aire caliente y húmedo.
2. Pintar el techo exterior del depósito con **pinturas reflectantes**.
3. Asegurar la presencia de **cortinas plásticas o de aire** para minimizar infiltraciones de aire caliente y húmedo en cámaras sobre cero y de congelar.
4. Controlar el **cierre de las puertas** de cámaras y su burletería (calefaccionados en cámaras de congelamiento).



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# BUENAS PRÁCTICAS EN REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL

## **ESPACIOS REFRIGERADOS**

5. Evitar diseños de cámaras con **puertas opuestas** (flujos de aire).
6. Iluminación con Leds para **minimizar carga térmica** por iluminación - Automatizar.
7. Insistir **a los operadores para que respeten el cierre y apertura de puertas y troneras.**
8. En caso de usarse auto-elevadores se recomiendan automatismos de puertas, **entrenamiento del personal** y obviamente que sean equipos eléctricos.
9. **Controlar el estado de las aislaciones**, continuidad de las barreras de vapor y asegurar el funcionamiento de los traceados de calentamiento eléctrico de los desagües al exterior de las bandejas de los evaporadores.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CONCEPTOS

- ✓ *¿Es necesario modificar mayormente nuestra instalación para lograr un ahorro de energía?*
- ✓ *¿Es necesario invertir en equipos para optimizar nuestra instalación?*
- ✓ *¿Es posible aprovechar nuestra instalación de refrigeración para obtener beneficios con procesos anexos?*



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CONCEPTOS

## **CONTROL DE CAPACIDAD MEDIANTE VARIADOR DE FRECUENCIA**

Los compresores operan a una velocidad constante de acuerdo al motor que tiene acoplado.

Velocidades típicas compresores:

- ✓ Compresores tornillo *2950 RPM a 50 Hz*
- ✓ Compresores tipo pistón *1450 RPM a 50 Hz*



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



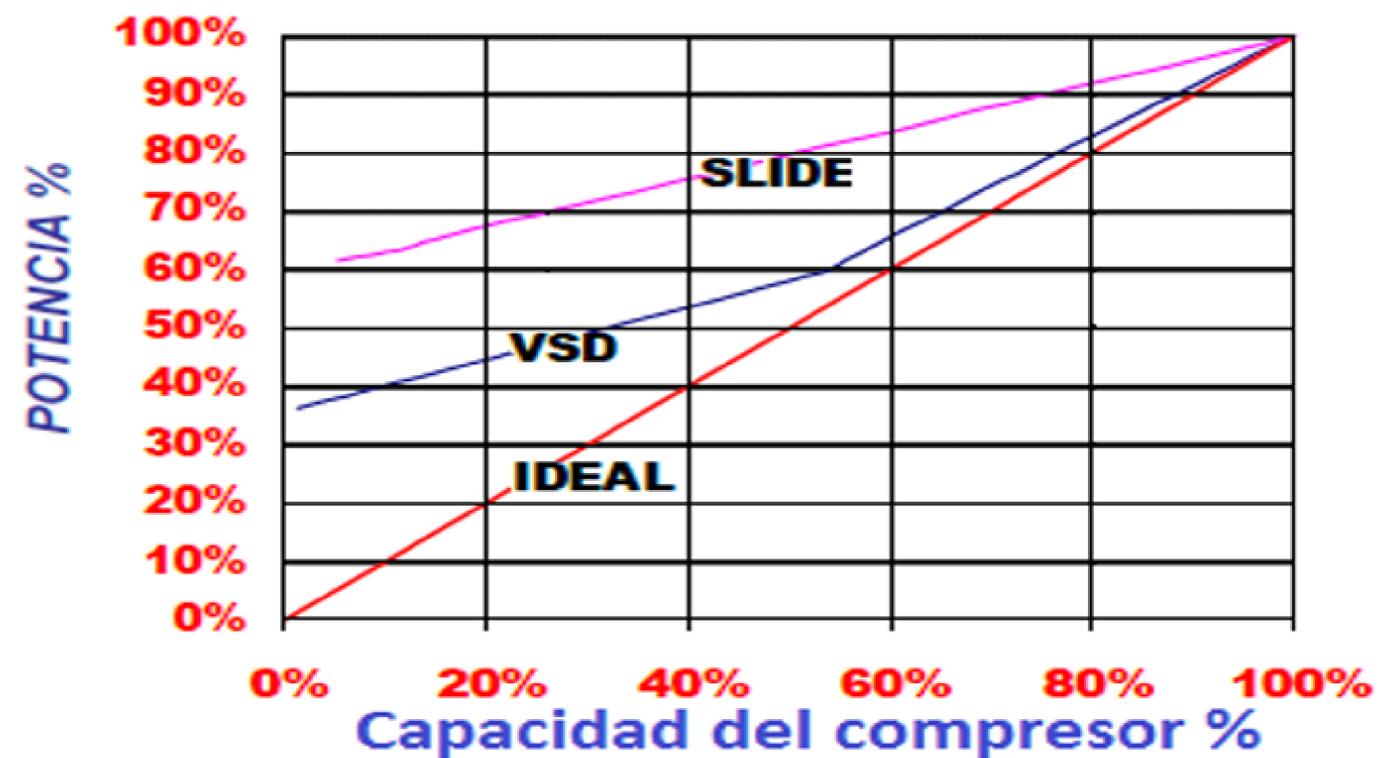
Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CONCEPTOS

## CONTROL DE CAPACIDAD MEDIANTE VARIADOR DE FRECUENCIA

El variador entrega la frecuencia necesaria en base a la presión de succión del sistema, si ésta sube, la frecuencia y velocidad de giro aumentarán incrementando la capacidad del compresor hasta que éste logre alcanzar la presión correspondiente a la temperatura de evaporación que se requiere.



# CONCEPTOS

## **CONTROL DE CAPACIDAD MEDIANTE VARIADOR DE FRECUENCIA**

- ✓ *Ahorro de energía* al realizar control de capacidad por velocidad y lograr mantener eficiencia compresor en distintas condiciones de operación.
- ✓ *Menor exigencia electromecánica del motor* y componentes mecánicos del compresor debido a arranques y paradas el equipo.
- ✓ *Regulación, y control más preciso* con una importante estabilidad de la presión de evaporación.
- ✓ *Baja corriente de arranque.*



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe

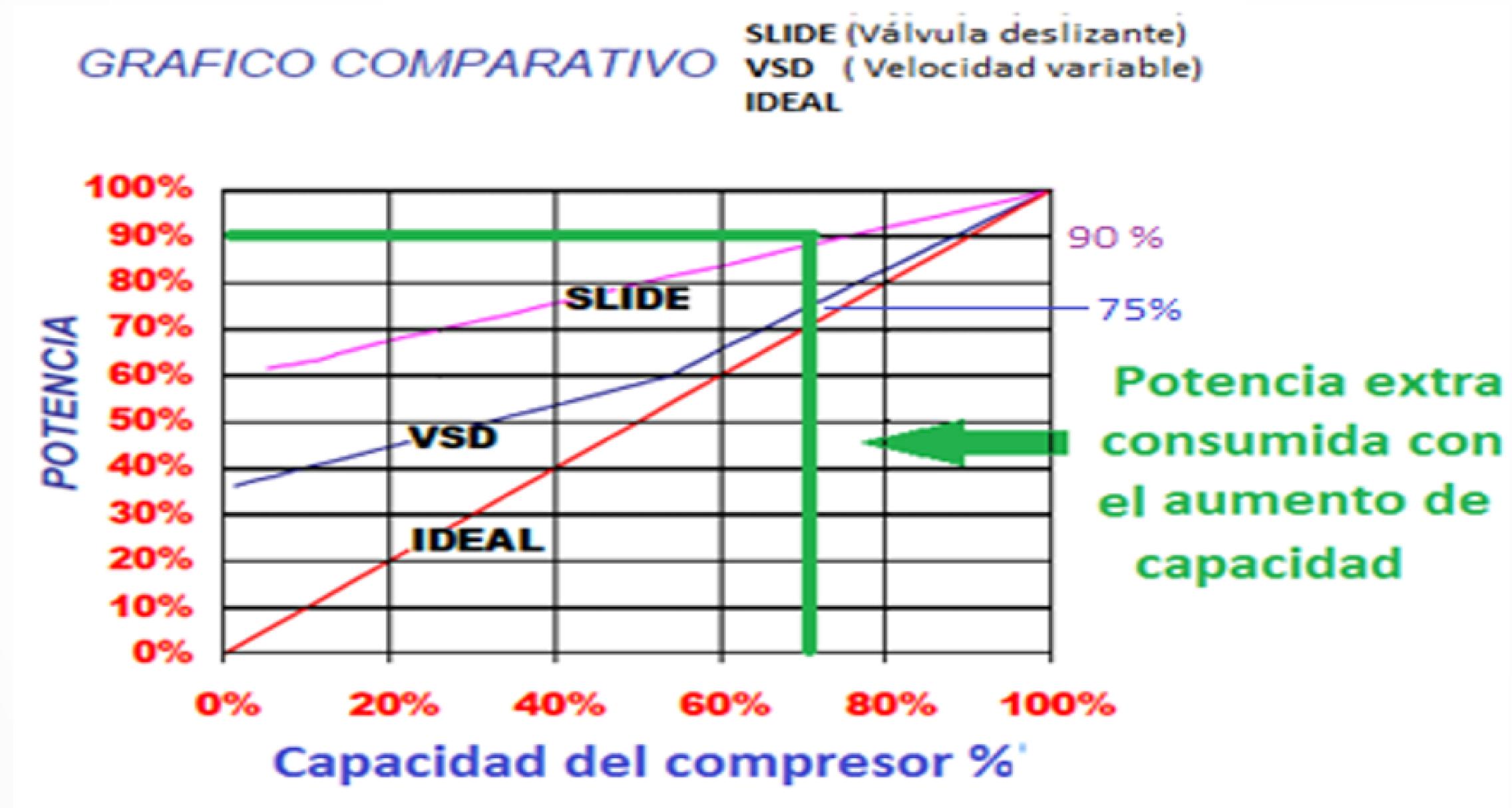


Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CONCEPTOS

## CONTROL DE CAPACIDAD MEDIANTE VARIADOR DE FRECUENCIA



# CONCEPTOS

## **AHORRO ANUAL COMPARATIVO SLIDE CON VSD**

- ✓ Carga promedio anual 70%
- ✓ Días promedio anual trabajados 350 (7200 Hs/año)
- ✓ Potencia del compresor al 100% de la carga 300 kW
- ✓ Del gráfico para el 70% de la carga el compresor con corredera toma el 90% de la potencia = 270 kW
- ✓ Del gráfico para el 70% de la carga el compresor con velocidad variable toma el 75% de la potencia = 225 kW
- ✓ Ahorro en potencia = 45 kW

Considerando precio de la energía 2000 \$/MWh

**Ahorro anual en Energía = 45 kW x 7200 Hs/año = 324.000 kWh**

**Ahorro anual en \$ = 45 kW x 7200 Hs/año x 2 \$ kWh = \$648.000**



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe

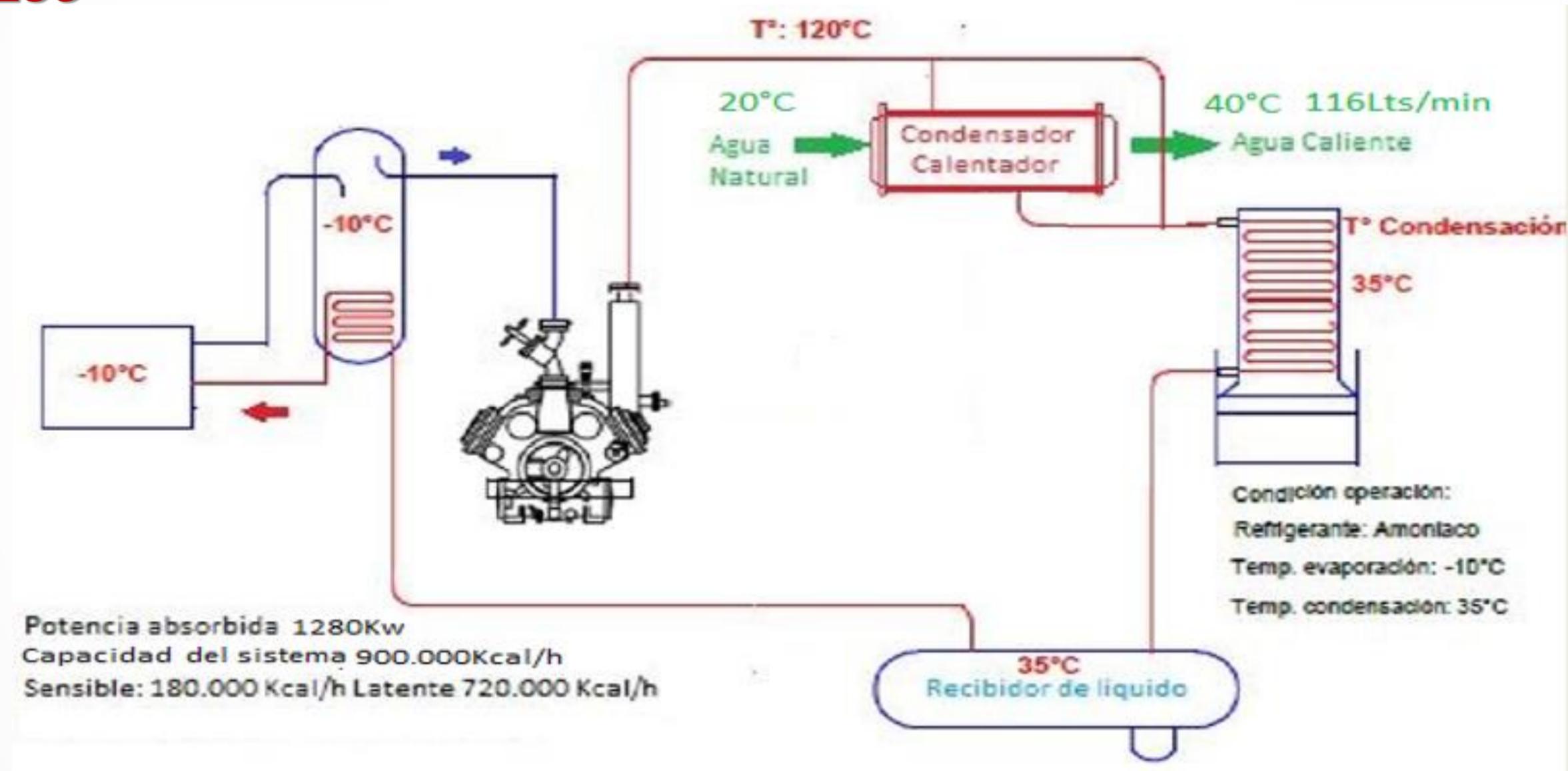


Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CONCEPTOS

## APROVECHAMIENTO GASES DE DESCARGA DE COMPRESORES PARA CALENTAR AGUA DE PROCESO



# CONCEPTOS

## *ANÁLISIS DE CASO*

Analicemos un sistema de cámaras de producto fresco según el siguiente detalle:

- ✓ Refrigerante utilizado: amoníaco.
- ✓ Temperatura de descarga:  $+120^{\circ}\text{C}$ .
- ✓ Flujo másico de amoníaco: 2,720 Kgr/hr.
- ✓ Carga total de la planta: 900000 Kcal/hr.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CONCEPTOS

## CUADRO DE FLUJOS

| Ítems                  | Amoniaco gas    | Agua            |
|------------------------|-----------------|-----------------|
| Temperatura de entrada | 120 °C          | 20°C            |
| Temperatura de salida  | 100 °C          | 40°C            |
| Flujo                  |                 | 116 Lts/min     |
| Capacidad              | 180.000 kcal/hr | 140.000 kcal/hr |

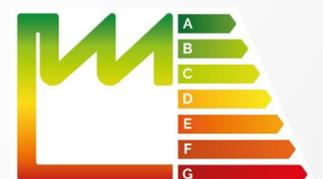
Aprovechando sólo calor sensible actúa como desobrecalentador



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CONCEPTOS

## *Análisis de resultados*

- ✓ Si consideramos usar el flujo de agua caliente para servicio sanitario tendríamos disponible hasta 116 lts/min.
- ✓ Además, la operación del calentador de agua libera hasta un 15% de la carga de condensación, lo que le permite a este operar más holgadamente con la consiguiente estabilidad de presión de condensación.
- ✓ Si se aprovechara el calentador como condensador, es decir, aprovechar el calor latente, se podría obtener mas caudal de agua y menos capacidad cargada al condensador, es decir que este podría disminuir el uso de los ventiladores según sea su control de capacidad.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CONCEPTOS

## ***ECONOMÍAS AJUSTANDO LA PRESIÓN DE EVAPORACIÓN Y TAMAÑO DE CAÑERÍAS***

- ✓ En sector de evaporadores y cañerías hay.
- ✓ Oportunidad de ahorro de energía en la generación de frío.
- ✓ Aumento de temperatura de evaporación.
- ✓ Correcto dimensionamiento de cañerías de distribución.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CONCEPTOS

## ***EVAPORACIÓN DIMENSIONAMIENTO - AUMENTO DE TEMPERATURA DE EVAPORACIÓN***

- ✓ Mientras mayor sea la temperatura de evaporación de un sistema de refrigeración, menor será su consumo de energía.
- ✓ Un aumento de 1 °C, podría significar ahorros que van entre un 1% y un 4%.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CONCEPTOS

## ***EVAPORACIÓN DIMENSIONAMIENTO***

Algunas maneras de aumentar la temperatura de evaporación son:

- ✓ Mantener los evaporadores sin hielo.
- ✓ Evitar obstrucciones al flujo de aire en las cámaras de frío.
- ✓ Mantener los intercambiadores de calor libre de obstrucciones, aceite, etc.
- ✓ Limpiar periódicamente los filtros de refrigerante.
- ✓ Aumentar la temperatura de evaporación hasta el mayor valor posible, en función de las necesidades del proceso.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CONCEPTOS

## ***EVAPORACIÓN DIMENSIONAMIENTO***

### ANÁLISIS

- ✓ Cámara para mantener el producto fresco a 0° C
- ✓ Refrigerante utilizado amoniaco.
- ✓ Temperatura de evaporación -12,5° C.
- ✓ Temperatura de condensación 32° C.
- ✓ Carga térmica de cámara 100.000 Kcal/hr.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CONCEPTOS

## AHORRO DE ENERGÍA

| Ítems               | T ev :-12,5°C               | T ev :-8°C      |
|---------------------|-----------------------------|-----------------|
| Capacidad requerida | 100.000 Kcal/hr<br>(116 Kw) | 100.000 Kcal/hr |
| Potencia absorbida  | 34,9 Kw                     | 29,9 Kw         |
| COP                 | 3,33                        | 3,91            |

Ahorro del 14% como consecuencia del aumento de la presión de evaporación de 4,5°C (-8 a -12,5)



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CONCEPTOS

## CONCLUSIONES

- ✓ Al aumentar la temperatura de evaporación aumenta el rendimiento de los compresores y baja la potencia absorbida, disminuyendo el trabajo requerido para obtener la misma potencia frigorífica.
- ✓ Al aumentar la temperatura de evaporación disminuye el volumen de refrigerante que se mueve por las líneas por lo que disminuye la caída de presión.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CHILLERS

- ✓ Equipos formados por un compresor completo , bombas de fluido intermediario, cañerías de fluidos que lo interconectan con las UTAs (unidades de tratamiento de aire) y con las torres de enfriamiento.
- ✓ Como fluido refrigerante utilizan freones.



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe

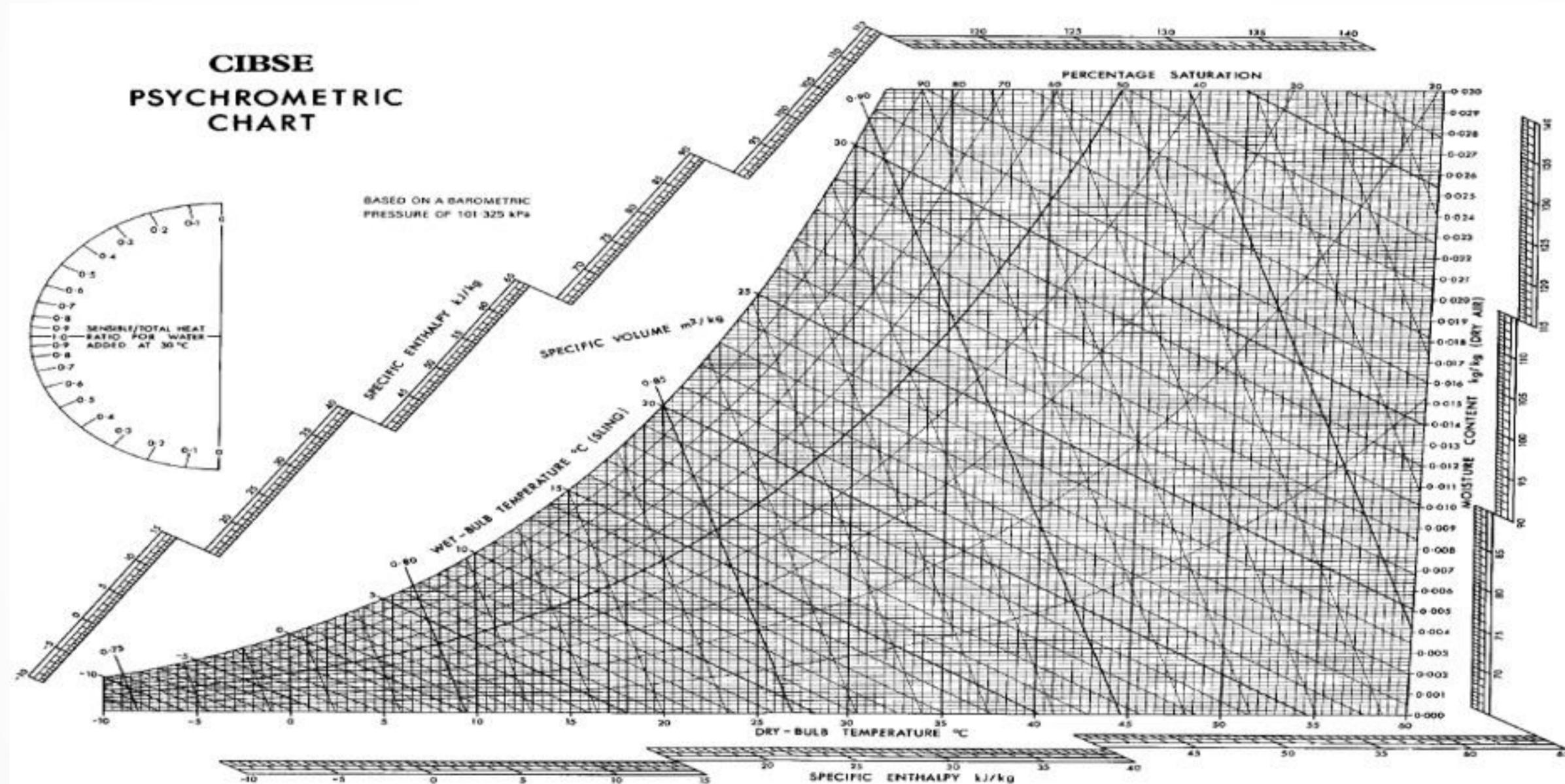


Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CHILLERS

## DIAGRAMA PSICROMÉTRICO



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



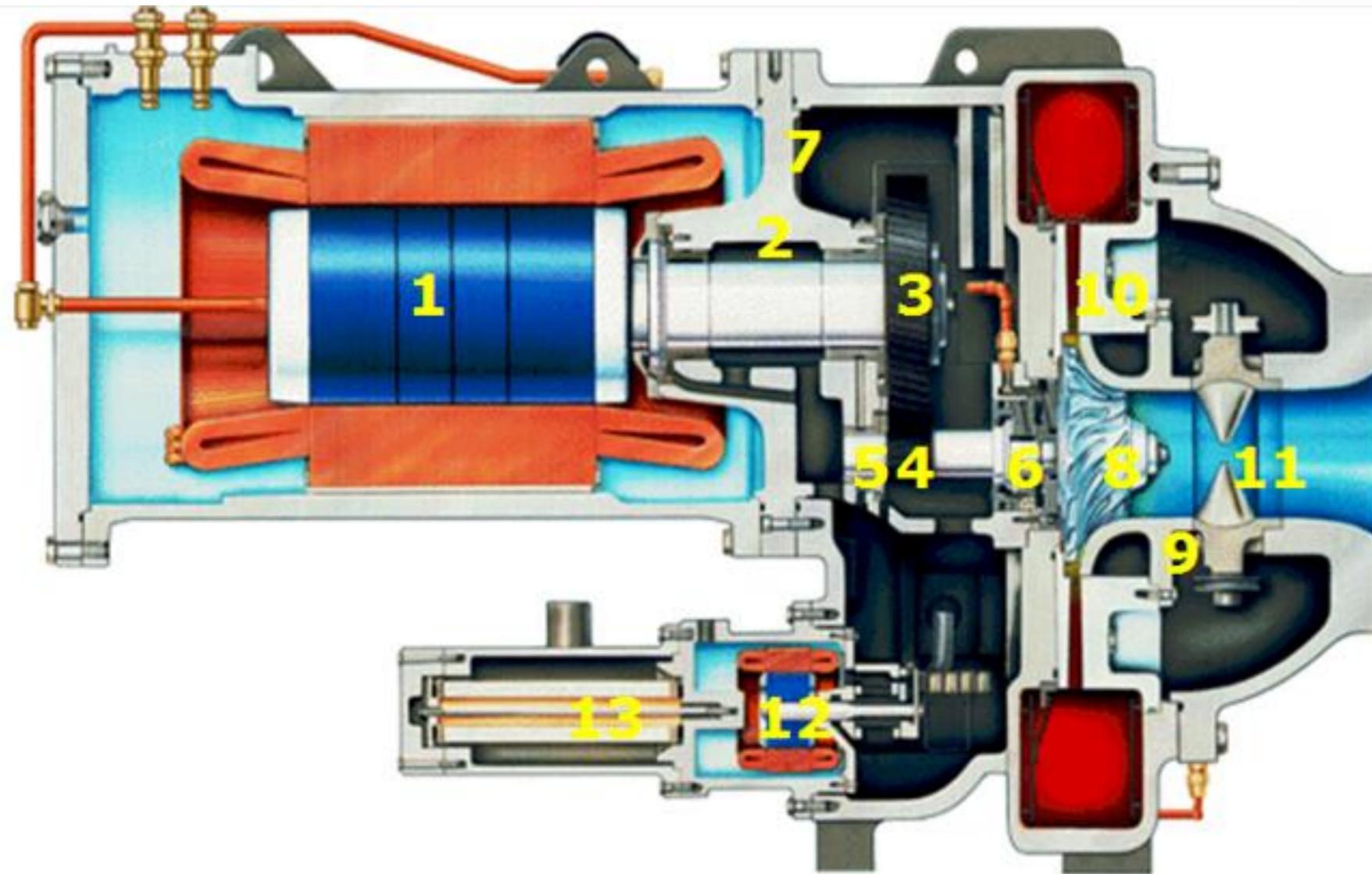
Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CHILLERS

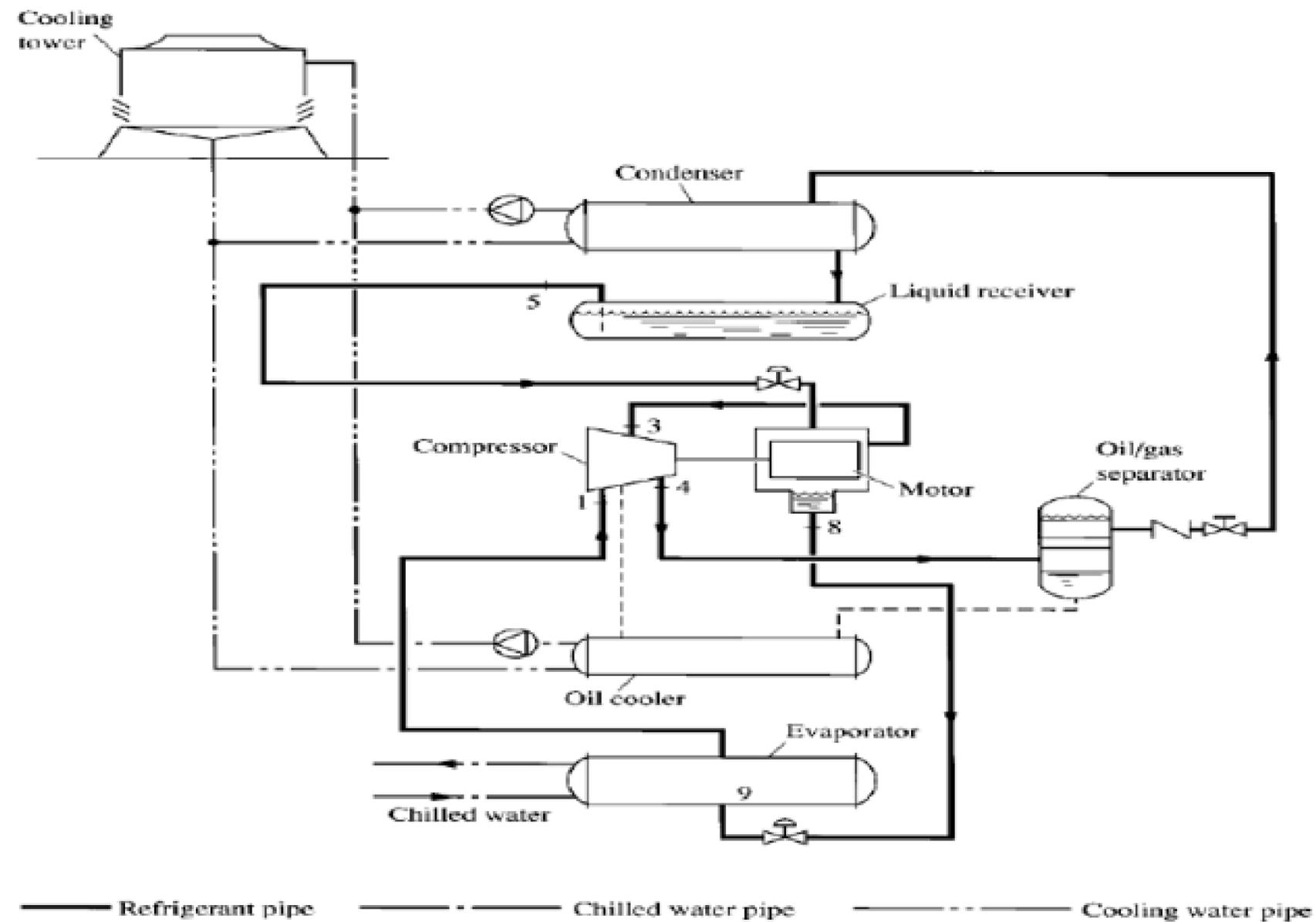
## *CORTE CHILLER*

- 1 Motor enfriado por refrigerante
- 2 Cojinetes principales
- 3 Engranaje de baja
- 4 Engranaje de alta
- 5 Cojinete alta velocidad
- 6 Cojinete de empuje
- 7 Caja de Transmisión
- 8 Rotor
- 9 Embocadura
- 10 Caja espiral(difusor)
- 11 Paletas de entrada
- 12 Bomba de aceite
- 13 Filtro de aceite



# CHILLERS

## CHILLER DIAGRAMA



# CHILLERS

## *SALA DE MÁQUINAS*



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe

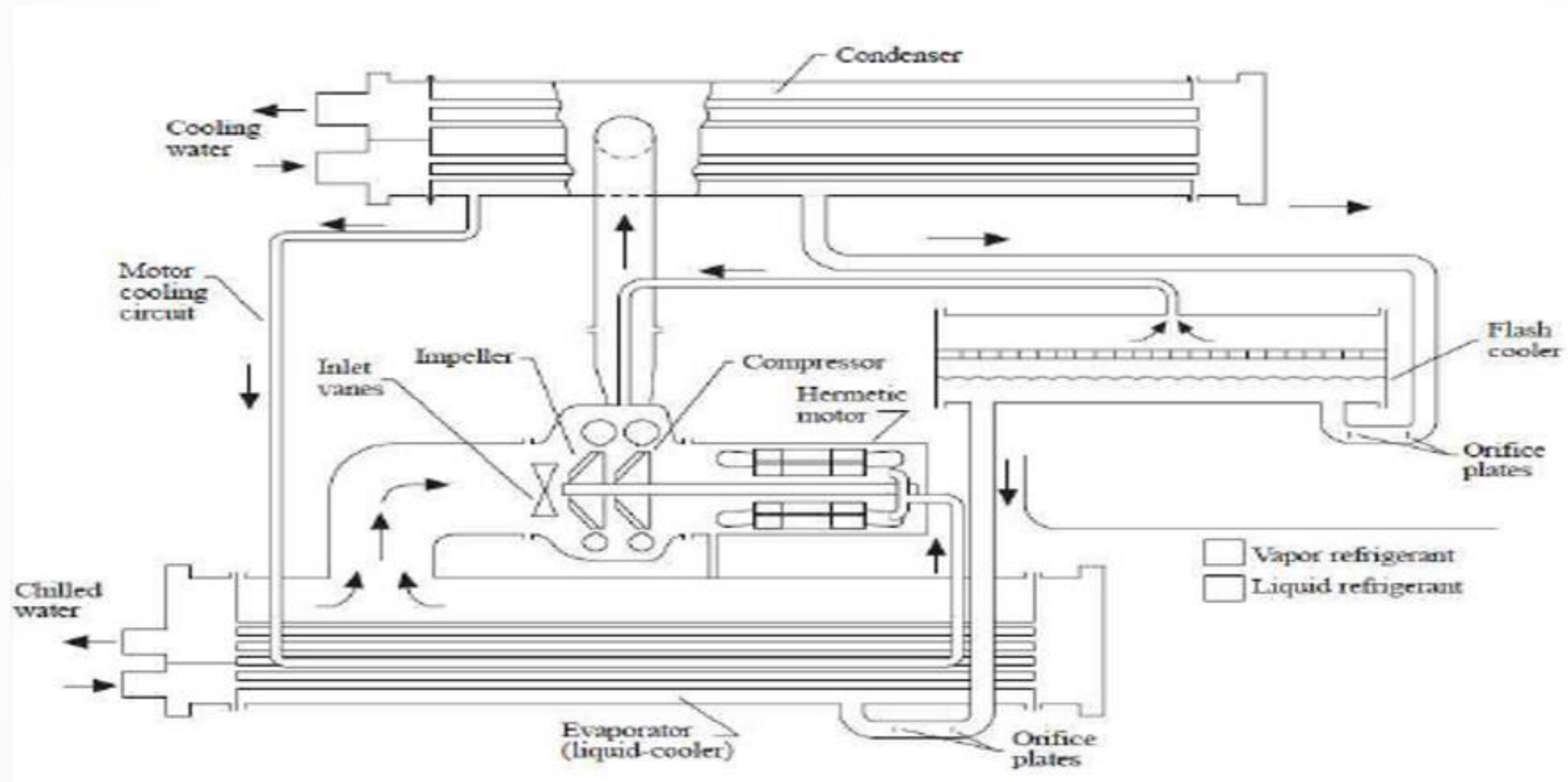


Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



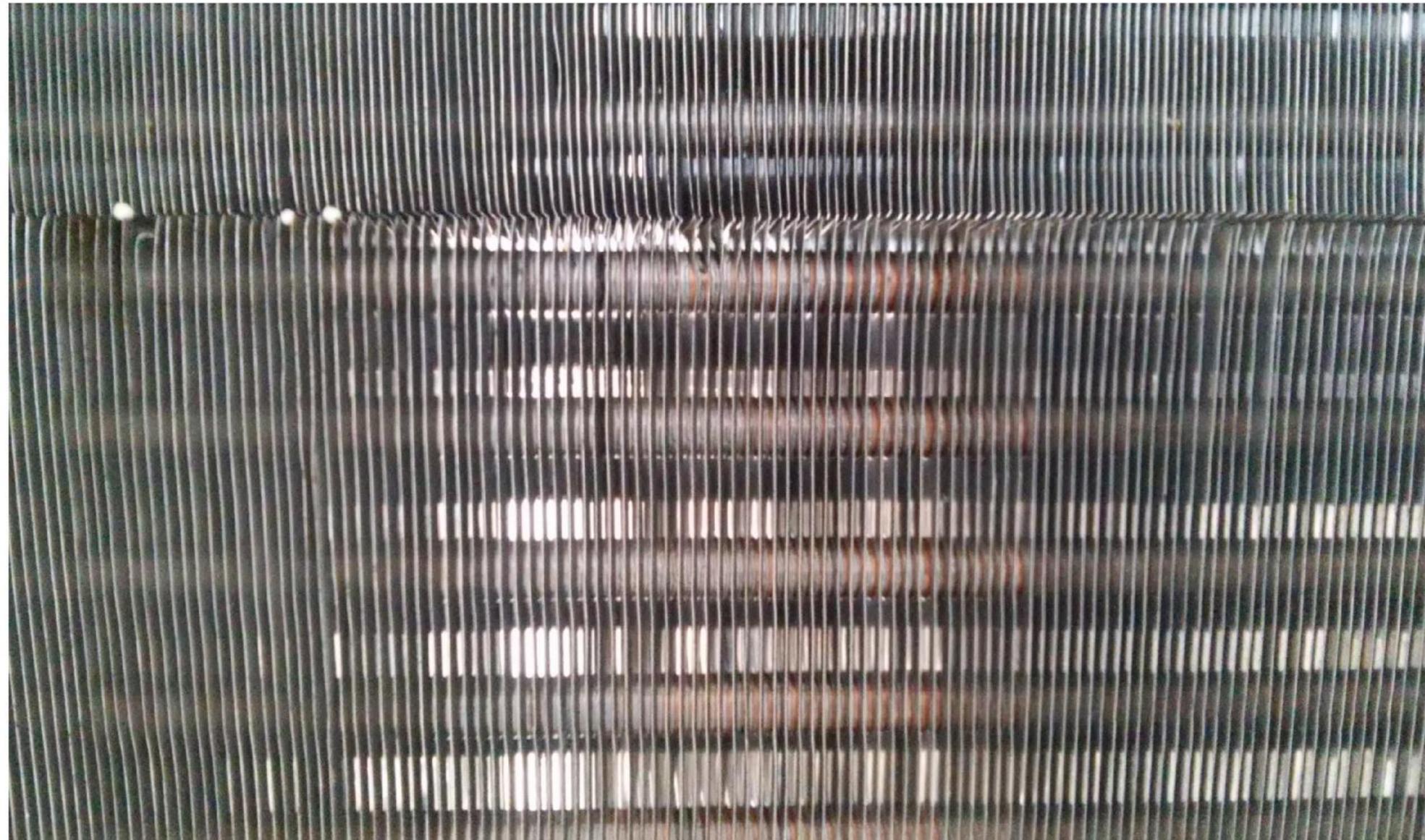
# CHILLERS

## CHILLER DOBLE ETAPA



# CHILLERS

## *DETALLE CONSTRUCTIVO INTERCAMBIADOR*



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CHILLERS

## *DETALLE CONSTRUCTIVO EVAPORADOR*



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CHILLERS

## *MANIFOLD DISTRIBUIDOR DE FLUÍDO INTERMEDIARIO*



# CHILLERS

## *BOMBAS DE RECIRCULACIÓN DE FLUÍDOS*



Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción



# CHILLERS

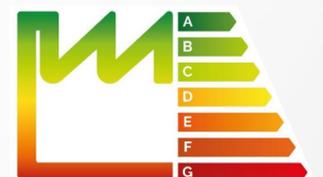
## TORRES DE ENFRIAMIENTO

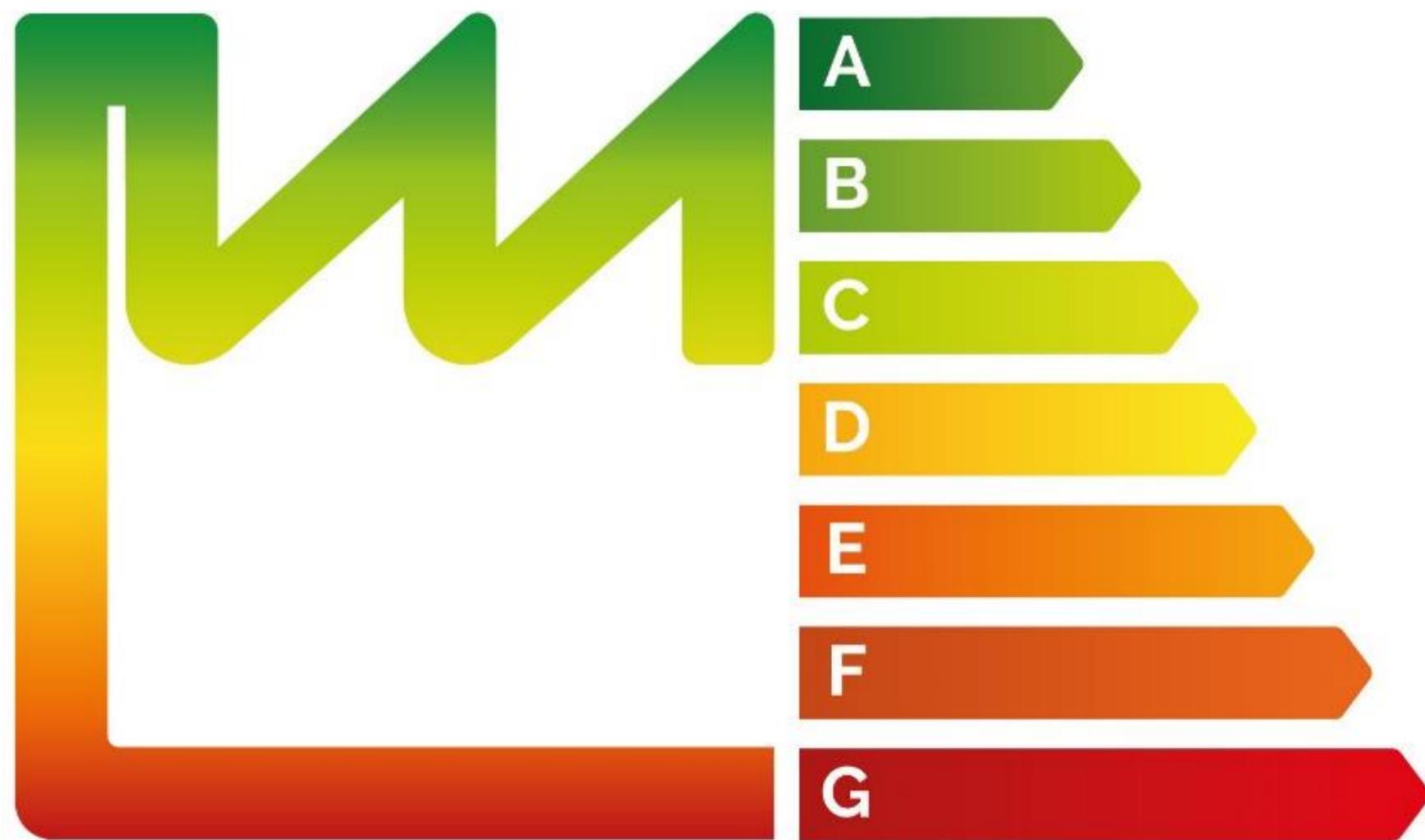


Secretaría de Estado de la Energía  
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica  
Ministerio de la Producción





**PROGRAMA DE FORMACIÓN DE  
GESTORES ENERGÉTICOS  
EN INDUSTRIAS**