

# Máquinas y equipos térmicos

**Cristina Escudero Salas**  
**Pablo Fernández Iglesias**

**INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO**



**INSTALACIONES FRIGORÍFICAS Y DE CLIMATIZACIÓN**

**INSTALACIONES DE PRODUCCIÓN DE CALOR**



# Títulos relacionados

## CALEFACCIÓN CÁLCULO Y DISEÑO DE INSTALACIONES

LUIS OSORIO PEREIRA  
ISBN: 978-84-283-2556-1



Solicítalos en

- Librería
- [www.paraninfo.es](http://www.paraninfo.es)
- Solicitudes nacionales 902 995 240
- Solicitudes fuera de España +34 913 308 907  
+34 913 308 919



# Máquinas y equipos térmicos

---

**Cristina Escudero Salas**  
**Pablo Fernández Iglesias**

INSTAL

INSTALA

INSTALA

Paraninfo

# Paraninfo

## Máquinas y equipos térmicos

© Cristina Escudero Salas y Pablo Fernández Iglesias

### Gerente Editorial

María José López Raso

### Equipo Técnico Editorial

Alicia Cerviño González

Nuria Duarte González

### Editora de Adquisiciones

Carmen Lara Carmona

### Producción

Nacho Cabal

### Diseño de cubierta

Nobel

### Preimpresión

Montytexto

Reservados los derechos para todos los países de lengua española. De conformidad con lo dispuesto en el artículo 270 del Código Penal vigente, podrán ser castigados con penas de multa y privación de libertad quienes reprodujeran o plagiaran, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica fijada en cualquier tipo de soporte sin la preceptiva autorización. Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño de la cubierta, puede ser reproducida, almacenada o transmitida de ninguna forma, ni por ningún medio, sea este electrónico, químico, mecánico, electro-óptico, grabación, fotocopia o cualquier otro, sin la previa autorización escrita por parte de la Editorial.

COPYRIGHT © 2013 Ediciones Paraninfo, SA

Av. Filipinas 50, Bajo A / 28003 Madrid, ESPAÑA  
Teléfono: 902 995 240 / Fax: 914 456 218  
clientes@paraninfo.es / www.paraninfo.es

ISBN: 978-84-9732-261-4

Depósito legal: M-15923-2013

(11023)

Impreso en España / Printed in Spain  
Gráficas Rógar (Navalcarnero)

# Índice

Prólogo .....	IX		
Agradecimientos .....	XI		
<b>■ 1. Dimensiones, unidades y conceptos de termodinámica</b> .....	<b>1</b>	<b>■ 3. Calor, trabajo y leyes de la termodinámica</b> .....	<b>29</b>
1.1. Dimensiones y unidades .....	2	3.1. Concepto de calor .....	30
1.2. Termodinámica .....	5	3.1.1. Transmisión de calor por radiación ....	30
1.2.1. Definiciones relacionadas con la termodinámica .....	5	3.1.2. Transmisión de calor por conducción ...	31
1.2.2. Leyes de la termodinámica .....	6	3.1.3. Transmisión de calor por convección ...	36
1.3. Procesos termodinámicos .....	6	3.2. Concepto de trabajo .....	39
1.4. Dilataciones de los cuerpos .....	7	3.3. Primer principio de la termodinámica .....	39
Resumen .....	9	3.3.1. Primer principio de la termodinámica para un sistema cerrado .....	40
Actividades finales .....	10	3.3.2. Primer principio de la termodinámica para un sistema abierto .....	40
<b>■ 2. Cambios de estado y calorimetría</b> .....	<b>13</b>	3.4. Aplicación del primer principio de la termodinámica a máquinas térmicas ....	41
2.1. Concepto de sustancia pura .....	14	3.4.1. Flujo permanente y transitorio de un fluido .....	41
2.1.1. Estados de la materia .....	14	3.4.2. Expresión de la primera ley de la termodinámica para máquinas térmicas en régimen permanente .....	41
2.2. Procesos de cambio de estado .....	14	3.4.3. Aplicación de la primera ley de la termodinámica a los elementos de un sistema frigorífico .....	42
2.3. Líquido subenfriado y líquido saturado .....	15	Resumen .....	44
2.4. Vapor sobrecalentado y vapor saturado .....	15	Actividades finales .....	45
2.5. Calor latente y calor sensible .....	16	<b>■ 4. Psicometría y aire acondicionado</b> .....	<b>49</b>
2.6. Diagramas de propiedades .....	17	4.1. Psicometría .....	50
2.7. Leyes de los gases .....	19	4.2. Diagrama psicométrico .....	50
2.8. Calor específico .....	21	4.3. Procesos de tratamiento de aire .....	54
2.8.1. Calor específico a presión constante y calor específico a volumen constante ..	21	4.4. Unidad de tratamiento de aire .....	57
2.8.2. Equilibrio térmico .....	23	4.5. Cálculo de cargas térmicas de refrigeración .....	59
Resumen .....	24		
Actividades finales .....	25		

4.5.1. Cargas térmicas a través de cerramientos	62
4.5.2. Cargas térmicas a través de cristales. . . . .	62
4.5.3. Cargas térmicas por ocupación de personas en el local . . . . .	63
4.5.4. Cargas térmicas por iluminación y/o maquinaria. . . . .	63
4.5.5. Cargas térmicas por ventilación e infiltraciones del aire. . . . .	63
4.5.6. Cargas térmicas totales . . . . .	63
<b>Resumen.</b> . . . . .	64
<b>Actividades finales.</b> . . . . .	65

## ■ 5. Máquinas frigoríficas. Ciclo de compresión de vapor 67

5.1. El ciclo de compresión de vapor . . . . .	68
5.1.1. Elementos fundamentales del ciclo de compresión de vapor . . . . .	68
5.1.2. Ciclo frigorífico de compresión de vapor ideal . . . . .	68
5.2. ¿Qué es la potencia frigorífica, la producción frigorífica y el COP?. . . . .	73
5.3. El recalentamiento . . . . .	73
5.4. El subenfriamiento . . . . .	74
5.5. El ciclo de compresión de vapor real . . . . .	76
5.5.1. Pérdidas de carga . . . . .	76
5.5.2. Representación del ciclo de compresión de vapor real . . . . .	77
5.6. El sistema de refrigeración por absorción . . . . .	78
<b>Resumen.</b> . . . . .	79
<b>Actividades finales.</b> . . . . .	80

## ■ 6. Fluidos refrigerantes y lubricantes 85

6.1. Definición y características de los refrigerantes. . . . .	86
6.2. Refrigerantes e impacto ambiental . . . . .	87
6.2.1. La destrucción de la capa de ozono . . . . .	87
6.2.2. El efecto invernadero . . . . .	88
6.3. Clasificación de los refrigerantes . . . . .	89
6.3.1. Clasificación de acuerdo a su composición química. . . . .	89
6.3.2. Clasificación de acuerdo al grado de seguridad . . . . .	91
6.4. Denominación de los refrigerantes. . . . .	91
6.5. Mezclas de gases refrigerantes . . . . .	92

6.5.1. Clasificación de las mezclas de refrigerantes . . . . .	92
6.5.2. Mezclas de refrigerantes más significativas . . . . .	93
6.6. Control y manipulación según normativa. . . . .	93
6.7. Lubricantes . . . . .	95
<b>Resumen.</b> . . . . .	97
<b>Actividades finales.</b> . . . . .	98

## ■ 7. El evaporador y el condensador 101

7.1. ¿Qué función tiene el evaporador?. . . . .	102
7.2. Clasificación de los evaporadores. . . . .	104
7.3. Selección del evaporador . . . . .	105
7.4. Sistemas de desescarche . . . . .	107
7.5. ¿Qué función tiene el condensador?. . . . .	110
7.6. Clasificación de los condensadores . . . . .	111
7.6.1. Condensadores enfriados por aire. . . . .	111
7.6.2. Condensadores enfriados por agua . . . . .	112
7.6.3. Condensadores evaporativos. . . . .	113
7.7. Selección del condensador . . . . .	114
<b>Resumen.</b> . . . . .	116
<b>Actividades finales.</b> . . . . .	117

## ■ 8. Compresores frigoríficos 119

8.1. Compresores: funcionamiento y partes . . . . .	120
8.2. Tipos de compresores . . . . .	120
8.3. Compresores rotativos. . . . .	121
8.3.1. Compresores de paletas . . . . .	121
8.3.2. Compresores de excéntrica . . . . .	122
8.3.3. Compresores de espiral ( <i>scroll</i> ) . . . . .	122
8.3.4. Compresores de tornillo . . . . .	123
8.4. Compresores alternativos: funcionamiento y componentes . . . . .	124
8.4.1. Forma constructiva: componentes. . . . .	125
8.4.2. Funcionamiento de los compresores alternativos. Ciclo de compresión. . . . .	126
8.5. Dimensionamiento de un compresor . . . . .	127
8.6. Motor eléctrico del accionamiento . . . . .	131
<b>Resumen.</b> . . . . .	133
<b>Actividades finales.</b> . . . . .	134



**9. Válvulas de expansión y elementos anexos al circuito 137**

9.1. Circuito frigorífico completo: dispositivos de expansión . . . . . 138

9.2. Válvulas de expansión termostáticas . . . . . 139

9.2.1. Funcionamiento . . . . . 139

9.2.2. Válvula de expansión termostática con igualador externo . . . . . 140

9.2.3. Válvula de expansión termostática tipo MOP. . . . . 141

9.3. Presostatos. . . . . 142

9.4. Termostato. . . . . 143

9.5. Válvula solenoide . . . . . 143

9.6. Separador de aceite. . . . . 144

9.7. Filtro deshidratador. . . . . 144

9.8. Visor de líquido. . . . . 145

9.9. Depósito de líquido. . . . . 145

9.10. Separador de líquido. . . . . 146

9.11. Intercambiador de calor . . . . . 146

Resumen. . . . . 147

Actividades finales. . . . . 148

**10. Componentes principales de una instalación de calefacción 151**

10.1. Tipos de instalaciones de calefacción. . . . . 152

10.2. Caldera . . . . . 153

10.2.1. Partes de una caldera . . . . . 153

10.2.2. Tipos de calderas . . . . . 154

10.3. Emisores . . . . . 157

10.3.1. Radiadores. . . . . 157

10.3.2. Convectores. . . . . 161

10.3.3. Aerotermos . . . . . 161

10.3.4. Instalaciones con *fan coils* . . . . . 162

10.3.5. Instalaciones de suelo radiante . . . . . 162

10.4. Cálculo de la carga térmica de calefacción . . . . . 162

10.4.1. Cargas térmicas por transmisión a través de cerramientos . . . . . 163

10.4.2. Cargas térmicas por ventilación y por infiltración. . . . . 164

10.4.3. Cargas térmicas suplementarias . . . . . 164

10.4.4. Cargas térmicas totales. . . . . 164

10.5. Dimensionado de los emisores. . . . . 164

Resumen. . . . . 167

Actividades finales. . . . . 168

**11. Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción 171**

11.1. Elementos auxiliares de una instalación de calefacción . . . . . 172

11.1.1. Circulador . . . . . 172

11.1.2. Vaso de expansión. . . . . 174

11.1.3. Dispositivos de seguridad. . . . . 175

11.1.4. Dispositivos de regulación y control. . . . . 177

11.2. Instalaciones de ACS y calefacción . . . . . 178

11.3. Instalaciones de ACS con energía solar térmica 182

11.3.1. Captadores solares . . . . . 182

11.3.2. Partes de una instalación solar térmica 183

11.4. Eficiencia energética. . . . . 186

Resumen. . . . . 187

Actividades finales. . . . . 188

**Anexo: Diagrama psicrométrico y diagramas de presión-entalpía 191**





# Prólogo

El presente texto trata de ser una herramienta docente básica para el Módulo de Máquinas y Equipos Térmicos de los Ciclos Formativos de Grado Medio de Instalaciones Frigoríficas y de Climatización y de Instalaciones de Producción de Calor, así como un apoyo importante para los Ciclos de Grado Superior de Mantenimiento de Instalaciones Térmicas y de Fluidos y de Eficiencia Energética y Energía Solar Térmica, y para todos aquellos profesionales del sector a los que pueda serles útil para el desempeño de su actividad.

Se ha tratado de dar al docente un instrumento de trabajo para la amplitud de contenidos que recoge el módulo, aunque es el docente el que decidirá, teniendo presente las características propias del grupo, las pautas a seguir en el desarrollo de su quehacer diario, con la intención de facilitar su trabajo a través de la hoja de ruta que es este manual.

A lo largo de su elaboración, se ha tenido presente el nivel educativo de los alumnos a los que va destinado y se ha empleado un lenguaje sencillo, claro y cercano. De la misma forma, han tratado de evitarse resoluciones o desarrollos matemáticos de elevada complejidad, pero atendiendo a las enseñanzas mínimas que establece el título del ciclo correspondiente.

En los títulos formativos que contienen el Módulo de Máquinas y Equipos Térmicos, se persigue que los alumnos sean capaces de montar y de mantener instalaciones frigoríficas, de climatización, de ventilación y de producción de calor aplicando la normativa vigente, protocolos de calidad, de seguridad y prevención de riesgos laborales, y asegurando su funcionalidad y adecuado respeto al medio ambiente.

El libro se ha dividido en tres bloques claramente diferenciados: uno con los conceptos generales (Unidades 1, 2, 3, 4), un segundo bloque de instalaciones frigoríficas y de climatización (Unidades 5, 6, 7, 8, 9) y un tercer bloque de instalaciones de producción de calor (Unidades 10 y 11). Al final de cada unidad, aparecen una serie de actividades teóricas y de orientaciones prácticas para asentar los conceptos tratados que se dividen en actividades de comprobación, de aplicación y de ampliación. En estas actividades, se busca

que la metodología empleada sea activa y participativa para intentar que sean los propios alumnos los que aprendan a través del descubrimiento, utilizando como herramientas las tecnologías de la información u otras fuentes documentales. En otras palabras, la utilización de internet, de manuales, catálogos, revistas técnicas, reglamentos y normas será de gran utilidad para el desarrollo de los contenidos y actividades.

Se ha perseguido desarrollar las competencias profesionales, personales y sociales a lo largo de las once unidades de trabajo que se recogen en el texto: 1. Dimensiones, unidades y conceptos de termodinámica, 2. Cambios de estado y calorimetría, 3. Calor, trabajo y leyes de la termodinámica, 4. Psicrometría y aire acondicionado, 5. Máquinas frigoríficas. Ciclo de compresión del vapor, 6. Fluidos refrigerantes y lubricantes, 7. El evaporador y el condensador, 8. Compresores frigoríficos, 9. Válvulas de expansión y elementos anexos al circuito, 10. Componentes principales de una instalación de calefacción y 11. Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción.

Asimismo se ha tratado de aunar teoría y práctica (saber y saber hacer) para hacerlo más cercano al alumno y, de esta forma, facilitarle el proceso de aprendizaje con experiencias y actividades que tengan aplicación práctica.

Aparte de los aspectos tratados en las unidades, aparecen otros aspectos transversales, como el cuidado por el medio ambiente, que tiene una gran presencia a lo largo del texto, lo que permite ver la evolución tecnológica y normativa que ha hecho posible que las tareas desarrolladas en estos sectores sean respetuosas con él.

Finalmente, los autores desean que docentes y alumnos disfruten a través del presente texto de la maravillosa habilidad del ser humano que es comprender el mundo que nos rodea.

Por otra parte, también deseamos agradecer a todas las empresas del sector que han participado cediendo imágenes o documentación técnica para su elaboración, lo que ha conseguido que el texto alcance un carácter más didáctico. Entre otras: Danfoss España, Frimetal, Baxi Roca calefacción, Recold, Gea Bock, Bitzer, Ferroli España, Tecnoclima, Salmson, Solarwave, Sedical, Salvador Escoda, etc.





# Agradecimientos

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a las siguientes empresas, cuyo apoyo gráfico ha sido de gran utilidad para el desarrollo de esta obra.

*Dupont*

*GEA Bock*

*Ferrolli*

*Tecnoclima*

*Salmson*

*Baltimore Air Coil.*

*Baxi*

*Sedical*

*Recold*

*Solarwave*

*Danfoss*



# Dimensiones, unidades y conceptos de termodinámica



La termodinámica se desarrolló a partir de la necesidad de aumentar la eficiencia de las primeras máquinas de vapor. También contribuyó el científico Carnot (al que le debemos el ciclo de Carnot), quien dedujo que no es posible construir un dispositivo mecánico que sea capaz de transformar totalmente el calor en trabajo y comenzó el desarrollo de la termodinámica. Más tarde, Kelvin y Celsius (a los que debemos dos escalas termométricas: la escala en kelvin y la escala en grados Celsius) desarrollaron los contenidos teóricos y matemáticos de la termodinámica y la convirtieron en una ciencia.

En las diferentes aplicaciones de la termodinámica, se utilizarán distintas dimensiones, como pueden ser presión, fuerza, energía y potencia, y conceptos relacionados con la temperatura con o sin las dilataciones de los cuerpos.

# 1

## Contenidos

- 1.1. Dimensiones y unidades
- 1.2. Termodinámica
- 1.3. Procesos termodinámicos
- 1.4. Dilataciones de los cuerpos
- Resumen
- Actividades finales

## Objetivos

- Conocer las distintas dimensiones y sus unidades.
- Reconocer la importancia de las leyes de la termodinámica.
- Clasificar los procesos termodinámicos.
- Distinguir las diferentes dilataciones y sus aplicaciones.

## 1.1. Dimensiones y unidades

Las **dimensiones** nos sirven para caracterizar una cantidad física. Ejemplos de dimensiones son la longitud en una tubería, el espesor de un muro a través del cual se transfiere calor o la temperatura de un gas. Son dimensiones la masa (M), la longitud (L), el tiempo (t), la temperatura (T), la velocidad (v), la energía (E) y el volumen (V).

Las **unidades** son magnitudes arbitrarias utilizadas para medir esas dimensiones. Ejemplos de unidades son los grados Celsius (°C) para medir temperatura, los metros (m) para medir longitud o los julios (J) para medir energía.

Existen varios sistemas de unidades y los más utilizados son el sistema internacional (SI) y el sistema inglés.

A continuación, veremos las dimensiones utilizadas en máquinas y en equipos frigoríficos y las unidades en las que podemos medirlas:

- **Longitud (L).** Las unidades en las que podemos medir la longitud son el **metro (m)** en el SI y los **pies (ft)** y los **pulgadas (in)** en el sistema anglosajón.

De las unidades del sistema inglés, la más utilizada en máquinas térmicas es la pulgada, ya que sirve para medir los diámetros de las tuberías de cobre de los equipos.

$$1 \text{ pulgada} = 1 \text{ in} = 2,54 \text{ cm}$$

### SABÍAS QUE...

Los sensores de temperatura permiten medir y regular la temperatura donde sea necesario.



### SABÍAS QUE...

Suelen utilizarse las pulgadas para denominar las tuberías. Así, si nos dicen que tenemos una tubería de ½ in, nos están indicando que su diámetro exterior es de ½ in.

### Actividad resuelta

- 1.1.** Calcula el diámetro interior del tubo de cobre de ½ in de una instalación frigorífica si su espesor es de 0,7 mm.

#### Solución:

Sabiendo que 1 in = 2,54 cm, podemos obtener que ½ in = 1,27 cm = 12,7 mm. Por tanto, sabiendo que el diámetro exterior es de 12,7 mm y que el espesor es de 0,7 mm, podemos decir que el diámetro interior será:

$$\begin{aligned} \text{Diámetro interior} &= \text{diámetro exterior} - (2 \times \text{espesor}) = \\ &= 12,7 - (2 \times 0,7) = 10,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

- **Masa (M), Fuerza (F) y Peso (pe).** En el SI, la unidad para medir la **masa** es el **kilogramo (kg)** y, en el sistema anglosajón, es la **libra masa (lbm)**. Esta última, normalmente, no la utilizaremos.

Para medir la **fuerza**, utilizaremos unidades del SI, la unidad utilizada es el **newton (N)**. Así, 1 N será la fuerza que hay que aplicar para que una masa (M) de 1 kg se desplace con una aceleración (a) de 1 m/s<sup>2</sup>.

$$F = M \times a$$

La unidad utilizada para medir el **peso** en el SI también es el **newton (N)**, ya que se trata de la fuerza con la que la Tierra atrae a los cuerpos. En el caso del peso, la aceleración con la que la Tierra atrae a los cuerpos, es decir, la gravedad (g), es siempre la misma: **9,81 m/s<sup>2</sup>**.

$$\text{Peso} = M \times g$$

Cabe indicar que el peso también podemos indicarlo a partir de la densidad (d) y el volumen del cuerpo, ya que la densidad de un cuerpo es la relación entre la masa de ese cuerpo y el volumen (V) que ocupa, es decir:

$$d = M/V$$

$$\text{Peso} = V \times d \times g$$

Puesto que la densidad también es la inversa del volumen específico ( $V_{\text{esp}}$ ), podemos decir que:

$$d = 1/V_{\text{esp}}$$

Además del newton, existe otra unidad muy utilizada para la medida del peso: el **kilopondio (kp)**, que es un kilogramo-fuerza.

$$1 \text{ kp} = 9,81 \text{ N}$$

### SABÍAS QUE...

Si tenemos un cuerpo de 1 kp, quiere decir que su masa es de 1kg. Por eso, en el lenguaje coloquial, suele utilizarse la palabra **kilos** para denominar el peso de un cuerpo.



### Actividad resuelta

1.2. A una masa de 14 kg se le aplica una fuerza de 21 N. Determina la aceleración producida.

**Solución:**

$$\text{Si } F = M \times a, a = F/M.$$

$$21/14 = 1,5 \text{ m/s}^2$$

### Actividad propuesta

1.1. Calcula la fuerza que se aplica sobre un cuerpo de 400 kg para que su aceleración sea de 7 ft/s<sup>2</sup>.

- **Energía (E).** La unidad de energía en el SI es el **julio (J)**. De tal forma que 1J es la energía que se transmite a un cuerpo cuando, aplicando una fuerza de 1 N, se desplaza 1 m de distancia.

$$J = N \times m$$

En maquinas térmicas, suelen utilizarse unidades de energía, ya que es en la unidad en la que se mide la transferencia de calor. Normalmente, se utiliza el múltiplo del julio, el **kilojulio (kJ)**.

Además del kJ, en instalaciones térmicas, suelen emplearse las **calorías (cal)** y su múltiplo las **kilocalorías (kcal)**. La caloría es la cantidad de energía calorífica necesaria para elevar un grado Celsius la temperatura de un gramo de agua pura a una presión de una atmósfera. En el sistema anglosajón, en lugar de kilocalorías, lo que utilizan son los **Btu (British Thermal Unit)**.

$$1 \text{ kcal} = 4,1868 \text{ kJ} = 4 \text{ Btu}$$

Para máquinas frigoríficas, se empleará, además, otra unidad de energía que será la **frigoría (fg)**. Cuando hablamos de maquinas térmicas, nos referimos a que se produce una transferencia de calor. Lo que hacemos es extraer calor, por lo tanto, el medio del que extraemos calor se quedará más frío y tendremos otras unidades, que serán las frigorías. Como la unidad es una medida de la extracción de calor, entonces, una frigoría será una kilocaloría con signo negativo.

$$1 \text{ fg} = -1 \text{ kcal}$$

Por otra parte, la energía también puede medirse en **kilovatiohora (kWh)**, unidad que se relaciona con la potencia, que es la siguiente dimensión que vamos a estudiar.

### Actividad propuesta

1.2. Un cuerpo transfiere a otro 676,45 cal en función de su diferencia de temperaturas. Calcula a cuántos julios equivalen esas calorías.

### SABÍAS QUE...

Existe otra unidad para medir la potencia y es el caballo de vapor (CV), que proviene del caballo de potencia (hp) que se utiliza en América.

El caballo de potencia surgió en el siglo XVIII para relacionar la potencia que podía desarrollar la máquina de vapor con respecto a la potencia que desarrollaban los caballos, que se utilizaban para mover molinos, levantar pesos, mover carruajes y otras aplicaciones.

$$1 \text{ CV} = 736 \text{ W}$$

$$1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$$

### Actividad resuelta

1.3. En una habitación, necesitamos un aporte de 2.689,15 kcal.

- ¿Cuántos julios equivalen a esa cantidad?
- ¿A cuántos Btus equivale?

**Solución:**

$$a) 2.689,15 \text{ kcal} \times (4,18 \text{ kJ}/1 \text{ kcal}) \times (1.000 \text{ J}/1 \text{ kJ}) = 11.240.647 \text{ J}$$

$$b) 2.689,15 \text{ kcal} \times (4 \text{ Btu}/1 \text{ kcal}) = 10.756,6 \text{ Btu}$$

- **Potencia (P).** La unidad en el SI de la potencia es el **vatio (W)**. Aunque, normalmente, en máquinas térmicas, utilizaremos el múltiplo **kilovatio (kW)**.

Por otro lado, cabe preguntarse **¿qué relación existe entre la potencia y la energía?** La respuesta es sencilla. Podemos considerar la potencia como la energía que se trasmite por unidad de tiempo.

$$\text{Potencia} = \text{energía}/\text{tiempo}$$

Esto da lugar a otra unidad para la medida de la potencia, que serán las **kcal/h**.

$$1 \text{ kW} = 860 \text{ kcal/h}$$

Si queremos expresar la potencia en unidades del sistema anglosajón, entonces, la mediremos en **Btu/h**.

$$1 \text{ kcal/h} = 4 \text{ Btu/h}$$

- **Presión (p).** La unidad en el SI es el **pascal (Pa)**, aunque, para maquinas térmicas, normalmente, se utilizan los múltiplos **kilopascal (kPa)** y **megapascal (MPa)**.

$$1 \text{ Pa} = 1.000 \text{ kPa} = 1.000.000 \text{ MPa}$$

Puesto que la presión (p) es la fuerza (F) que se aplica por unidad de superficie (S), podemos decir que:

$$p = F/S$$

Así pues, podemos decir que:

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

Otras unidades para medir presión que también serán utilizadas en maquinas térmicas son el **bar (bar)**, la **atmósfera de presión (atm)**, los **metros de columna de agua (mca)** y los **milímetros de columna de mercurio (mmHg)**.

$$1 \text{ bar} = 100.000 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 101.325 \text{ Pa} = 10,33 \text{ mca} = 760 \text{ mmHg}$$

En el sistema anglosajón, la presión se mide en **psi**, que es la presión que ejerce 1 libra fuerza sobre una superficie de 1 in<sup>2</sup>.

$$14,696 \text{ psi} = 1 \text{ atm}$$

Cuando medimos la presión en el vacío, obtenemos la presión absoluta. Entonces, si medimos la presión con un manómetro, ¿qué medida de presión obtenemos? Lo que estamos midiendo realmente es la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica y la llamamos *presión relativa* o *manométrica*. Por lo tanto:

$$P_a = P_{rel} + P_{at}$$

$P_a$ : presión absoluta.

$P_{rel}$ : presión relativa.

$P_{atm}$ : presión atmosférica.



Figura 1.1. Manómetro

- **Temperatura (T)**. La unidad en el SI es el **kelvin (K)** y en el sistema anglosajón los grados **Rankine (R)**, aunque estos últimos están en desuso. Además de estas, existen otras dos unidades muy empleadas que son los grados **Fahrenheit (°F)** y **Celsius (°C)**.

#### ■ SABÍAS QUE...

La presión atmosférica sobre un punto es el peso de una columna de aire que se extiende desde ese punto hasta el límite superior de la atmósfera.

Esto puede aplicarse para todos los fluidos (líquido o vapor) de forma que:

$$p = d \times g \times h$$

Donde  $p$  es presión,  $d$  es densidad,  $g$  es aceleración de la gravedad y  $h$  es la altura de la columna del fluido.

De acuerdo con lo anterior, diremos que estas tres escalas de temperatura son las más empleadas:

1. **Escala de temperatura Kelvin.** Es la única que es una escala absoluta (la de Rankine también lo es, pero está en desuso), ya que no depende de las propiedades de las sustancias. En esta escala, se parte de la temperatura 0 K, que se considera cero absoluto o temperatura más baja a la que pueden llegar las sustancias. El punto de fusión del agua corresponde con 273,15 K y el de ebullición con 373,15 K. El número de divisiones entre ambas temperaturas es de 100.
2. **Escala de temperatura Fahrenheit.** Para establecerla, se consideró como 0 °F el punto de congelación de una disolución de cloruro amónico y como 100 °F la temperatura normal del cuerpo humano. En este caso, el punto de fusión del agua es de 32 °F y el de ebullición de 212 °F. El número de divisiones entre estas dos temperaturas es de 180.
3. **Escala de temperatura Celsius.** Para establecerla, se utilizó el punto de fusión del agua (0 °C) y el punto de ebullición del agua (100 °C). El intervalo entre esos dos puntos se divide en 100 partes iguales y cada una de ellas recibe el nombre de grado Celsius. El cero absoluto se corresponde con los 273,15 K.

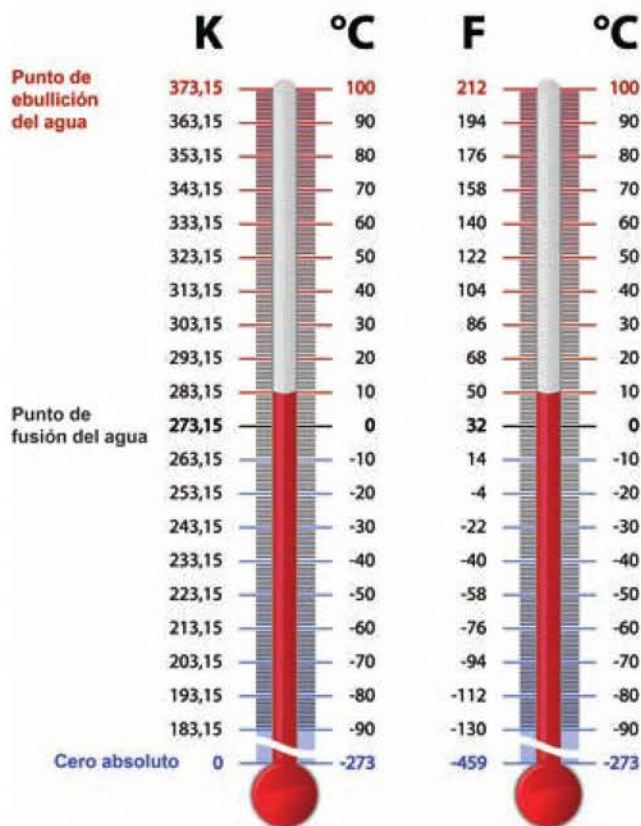


Figura 1.2. Escalas de temperatura

Para poder convertir la temperatura de una escala a otra, utilizaremos la tabla siguiente:

**Tabla 1.1.** Tabla de conversión de escalas de temperatura

De la escala	A la escala	Conversión
Celsius	Fahrenheit	$^{\circ}\text{F} = (^{\circ}\text{C} \times 1,8) + 32$
Fahrenheit	Celsius	$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32)/1,8$
Celsius	Kelvin	$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$
Kelvin	Celsius	$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15$

Para poder pasar de Fahrenheit a Kelvin, y viceversa, tan solo es necesario tener en cuenta las fórmulas de la tabla anterior.

### SABÍAS QUE...

Con base en el esquema de notación introducido en 1967 en la Conferencia General de Pesos y Medidas (CGPM), el símbolo del grado se eliminó en forma oficial de la unidad de temperatura absoluta. Por eso, los kelvin se expresan sin  $^{\circ}$  y no se pone delante la palabra grado.

### Actividad resuelta

**1.4.** Expresa las siguientes temperaturas en las otras dos escalas: 95  $^{\circ}\text{C}$ , 150 K, 32  $^{\circ}\text{F}$  y 20  $^{\circ}\text{F}$ .

**Solución:**

- $^{\circ}\text{F} = (^{\circ}\text{C} \times 1,8) + 32 = (95 \times 1,8) + 32 = 203 \text{ }^{\circ}\text{F}$   
 $\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15 = 95 + 273,15 = 368,15 \text{ K}$
- $^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15 = 150 - 273,15 = -123,15 \text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $^{\circ}\text{F} = (^{\circ}\text{C} \times 1,8) + 32 = (-123,15 \times 1,8) + 32 = -189,67 \text{ }^{\circ}\text{F}$
- $^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32)/1,8 = (32 - 32)/1,8 = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15 = 0 + 273,15 = 273,15 \text{ K}$
- $^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32)/1,8 = (20 - 32)/1,8 = -6,67 \text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15 = -6,67 + 273,15 = 266,48 \text{ K}$

### Actividad propuesta

**1.3.** Explica si está bien de salud o si tiene fiebre una persona con 104  $^{\circ}\text{F}$ .

## 1.2. Termodinámica

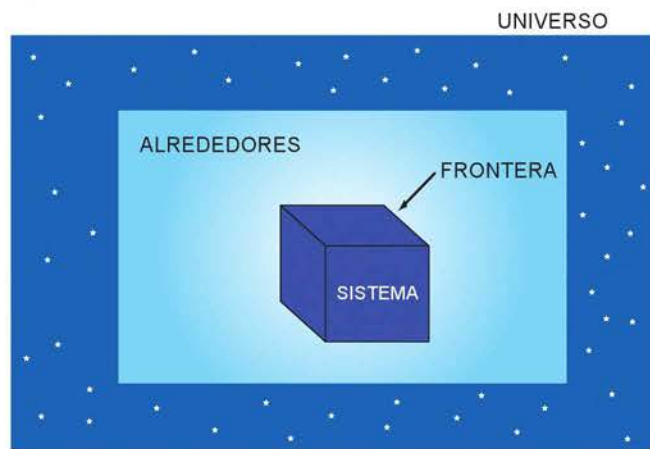
La **termodinámica** es la ciencia que se dedica al estudio de la relación entre el calor y otras formas de energía. Un ejemplo de sistema termodinámico es el calentamiento de

agua en una caldera, donde se transforma el agua en vapor y, al salir, va a parar a un condensador que actúa como disipador de calor.

### 1.2.1. Definiciones relacionadas con la termodinámica

Para resolver un problema determinado, necesitamos centrarnos en el objeto de nuestro estudio, que sería el sistema y sus alrededores, ya que sus condiciones pueden sufrir variaciones. A continuación, vamos a estudiar cada parte del sistema termodinámico:

- **Sistema.** Es cualquier cantidad de materia o región del espacio seleccionada para ser objeto de estudio aislada de lo demás.
- **Universo.** Es el sistema y su entorno.
- **Alrededores o entorno.** Es la materia o región del espacio que se encuentra fuera del sistema.
- **Frontera.** Es la superficie que separa o aísla el sistema de sus alrededores. Se considera que el espesor de la superficie es nulo y, por tanto, no ocupa espacio ni tiene materia.



**Figura 1.3.** Representación de un sistema termodinámico

Después de estas definiciones, la pregunta sería: **¿puede haber intercambio de materia y energía entre el sistema y el entorno?** Para responder a esta pregunta, veremos los distintos tipos de sistemas que existen:

- **Sistema aislado.** Es aquel en el que no puede intercambiarse ni materia ni energía entre el sistema y el entorno.
- **Sistema cerrado.** Es aquel en el que puede haber intercambio de energía, pero no de materia entre el sistema y el entorno.

En el estudio de las máquinas térmicas, un ejemplo de sistema cerrado sería el del gas que se comprime en los pistones de un compresor, en este caso, la masa de gas siempre es la misma, aunque aumentemos o disminuyamos su volumen o lo calentemos o lo enfriemos.

- **Sistema abierto.** Es aquel en el que puede haber intercambio de materia y de energía con el entorno.

Un ejemplo de este sistema en las máquinas termodinámicas puede ser la salida de los humos de combustión en una caldera o en las tuberías de agua caliente en las que circula una masa de agua y hay un intercambio de energía. De esta forma se transmite el calor del agua de la tubería al exterior.

La evolución de un sistema desde unas condiciones iniciales hasta otras condiciones finales debido a la desestabilización del mismo se conoce como **sistema termodinámico**. Los estados iniciales y finales del sistema son estados de equilibrio, pero, en la parte intermedia, se producen desestabilizaciones motivadas por su interacción con los alrededores.

Teniendo en cuenta esto, podemos definir **estado** como las fases que va atravesando un sistema durante un proceso termodinámico. Al ir pasando por las distintas fases, va marcando un recorrido que se llama *trayectoria del proceso*. Cada estado está definido por unas propiedades termodinámicas fijas.

Cuando un proceso se inicia con unas condiciones iniciales y finaliza con las mismas condiciones, decimos que es cíclico. Los ciclos termodinámicos pueden aplicarse a:

- **Máquinas térmicas** ya que están destinadas a la obtención de trabajo a partir de dos fuentes de calor a distinta temperatura.
- **Refrigeradores y bombas de calor** ya que se encargan de producir el paso de calor de la fuente de menor temperatura a la fuente de mayor temperatura mediante la aportación de trabajo.

La materia, como sabemos, está compuesta por moléculas que se encuentran unidas por distintos tipos de enlaces. La energía propia de esta materia (enlaces de las moléculas, interacciones entre ellas, choques térmicos, etc.) la llamamos **energía interna**. En un proceso termodinámico, la variación de energía interna solo depende de su estado inicial y del estado final y no de la trayectoria o del camino seguido para realizarlo.

#### ■ RECUERDA

La termodinámica describe cómo los sistemas responden a los cambios en su entorno.

## ■ ■ 1.2.2. Leyes de la termodinámica

La **primera ley de la termodinámica**, también llamada *principio de conservación de la energía*, nos dice que la energía ni se crea ni se destruye, tan solo se transforma.

Trataremos de explicarlo a través de un ejemplo: si tenemos en nuestra casa una tostadora, la energía eléctrica se transforma en energía térmica en las resistencias eléctricas de la tostadora, es decir, que la energía sigue siendo la misma, solo se ha transformado.

La **segunda ley de la termodinámica** nos dice que todo proceso cíclico cuyo único fin sea el de transferir energía en forma de calor de una región de mayor temperatura a otra de menor temperatura es imposible. Esto se debe a que todos los procesos de transferencia de calor implican transporte y transformación de energía.

Veámoslo con un ejemplo: un plato de sopa caliente se enfriará cuando pase el tiempo, pero, si esa sopa estuviera fría, nunca se calentaría por sí sola. Esto sucede porque la energía de la sopa caliente se transforma y se transfiere al aire que rodea la sopa.

## ■ 1.3. Procesos termodinámicos

Como hemos dicho, un proceso termodinámico es el cambio de un sistema desde unas condiciones iniciales hasta otras condiciones finales. Los procesos en los que se mantiene constante alguna propiedad, se designan con el prefijo *iso*.

- **Proceso isobárico.** Proceso termodinámico en el que la presión se mantiene constante en toda la trayectoria. Por ejemplo, en los mapas del tiempo, las líneas de presión que unen los puntos de igual presión.
- **Proceso isotérmico.** Proceso termodinámico en el que la temperatura se mantiene constante durante toda la trayectoria. Por ejemplo, los cambios de estado de las sustancias son procesos isotérmicos ya que, durante el cambio de estado, la temperatura permanece constante.
- **Proceso isocórico o isométrico.** Proceso termodinámico en el que el volumen se mantiene constante durante toda la trayectoria. Por ejemplo, si se suministra calor a una botella de gas, observamos que la temperatura y la presión interna se elevan, pero el volumen se mantiene constante.
- **Proceso adiabático.** Proceso termodinámico en el que el sistema no intercambia calor con su entorno. Un proceso adiabático que es reversible se conoce como *proceso isentrópico*. Ejemplos de procesos adiabáticos son los procesos de humectación (aporte de vapor de agua) puesto que no hay transferencia de calor, a pesar de que se consiga variar la temperatura del aire y su humedad relativa. Esto se emplea en climatización.

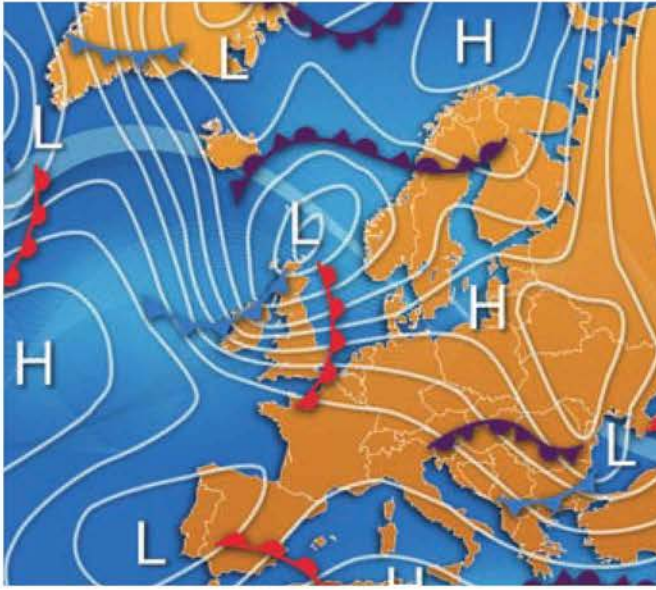
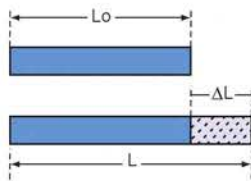


Figura 1.4. Isobaras de un mapa del tiempo

## 1.4. Dilataciones de los cuerpos

Normalmente, al aumentar la temperatura aumenta el volumen de los cuerpos y este fenómeno recibe el nombre de *dilatación de los cuerpos*. Según sea la forma del cuerpo, podremos tener distintos tipos de dilataciones:

- **Dilataciones lineales.** Son incrementos longitudinales en los que la variación de tamaño se produce principalmente en una dimensión.



$$L_f = L_0 \times [1 + (\alpha \times \Delta T)]$$

$\alpha$ : coeficiente de dilatación lineal ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ).

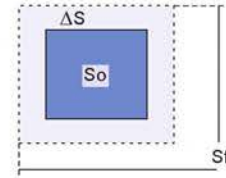
$L_0$ : longitud inicial.

$L_f$ : longitud final.

$\Delta T = T_f - T_0$  (Incremento de temperatura = temperatura final - temperatura inicial).

$\Delta L = L_f - L_0$  (Incremento de longitud = longitud final - longitud inicial).

- **Dilataciones superficiales.** Son los incrementos de tamaño que se producen en una superficie, por lo tanto, dicha variación se produce en dos dimensiones. Un ejemplo de dilatación superficial son las chapas de acero.



$$S_f = S_0 \times [1 + (\beta \times \Delta T)]$$

$\beta$ : coeficiente de dilatación superficial ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ).  $\beta = 2 \times \alpha$

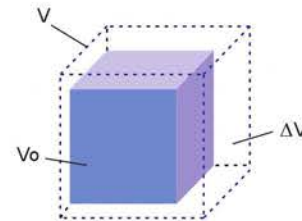
$S_0$ : superficie inicial.

$S_f$ : superficie final.

$\Delta T = T_f - T_0$  (Incremento de temperatura = temperatura final - temperatura inicial).

$\Delta S = S_f - S_0$  (Incremento de superficie = superficie final - superficie inicial).

- **Dilataciones cúbicas.** Son dilataciones que se producen en un volumen y la variación de tamaño se produce en tres dimensiones. Tener en cuenta que los líquidos y los gases tan solo tendrán dilatación cúbica debido a que su tamaño varía en las tres dimensiones con la temperatura.



$$V_f = V_0 \times [1 + (\gamma \times \Delta T)]$$

$\gamma$ : coeficiente de dilatación cúbica ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ).  $\gamma = 3 \times \alpha$

$V_0$ : volumen inicial.

$V_f$ : volumen final.

$\Delta T = T_f - T_0$  (Incremento de temperatura = temperatura final - temperatura inicial).

$\Delta V = V_f - V_0$  (Incremento de volumen = volumen final - volumen inicial).

**Pero ¿qué aplicación tiene el cálculo de dilataciones?** Existen múltiples aplicaciones de las **dilataciones lineales**, por ejemplo, la dilatación de los cables del tendido eléctrico y de las barras de acero o la dilatación de los tubos de cobre en las tuberías de calefacción, ya que, al circular agua caliente, se producirá el incremento de longitud.

En las tuberías por las que circulan líquidos o gases calientes, deben tenerse en cuenta las dilataciones lineales para evitar que se produzcan roturas en los puntos más débiles, que suelen ser las uniones entre tuberías y aparatos.

Como hemos dicho, en el caso de los líquidos y de los gases, tendremos **dilataciones cúbicas**. Una de las princi-

para las aplicaciones del cálculo de las dilataciones cúbicas es para la calefacción: el agua caliente que circula por los circuitos de calefacción sufre dilataciones y, por esta razón, se colocan depósitos de expansión o vasos de expansión para que se acumule ese exceso de volumen de agua.

### Actividad resuelta

**1.5.** Si un cuerpo de coeficiente de dilatación de  $0,000169 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  tiene una longitud de 1 m y su temperatura pasa de 78 a  $89 \text{ }^\circ\text{C}$ , ¿qué longitud tiene al final?

#### Solución:

La variación de temperatura es  $\Delta T = 89 - 78 = 11 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Sustituyendo en la ecuación  $L_f = L_0 \times [1 + (\alpha \times \Delta T)]$ , obtenemos que  $L$  es igual a 1,00184 m.

### Actividad resuelta

**1.6.** Un cuerpo de longitud de 3 m y de temperatura de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  se calienta y sube su temperatura hasta los  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Después del calentamiento, su longitud es de 3,0019 m. ¿Cuál será su coeficiente de dilatación lineal?

#### Solución:

La variación de temperatura es  $\Delta T = 30 - 20 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Sustituyendo en la ecuación  $L_f = L_0 \times [1 + (\alpha \times \Delta T)]$ ,

$3,0019 = 3 \times [1 + (\alpha \times \Delta T)]$ , obtenemos que  $\alpha$  es igual a  $0,000063 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .

### SABÍAS QUE...

Los fluidos suelen dilatarse cuando aumentas su temperatura. Pero el agua es una excepción puesto que el punto de mínimo volumen es a  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  y se dilata cuando disminuimos la temperatura.

### Actividad resuelta

**1.7.** Un recipiente tiene un volumen de  $1.000 \text{ cm}^3$  a  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  y está completamente lleno de mercurio. Cuando se calienta el conjunto hasta llegar a  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ , se derraman  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  de mercurio. Sabiendo que el coeficiente cúbico de dilatación del mercurio es  $0,00018 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , calcula:

- La dilatación real.
- La dilatación volumétrica del recipiente.
- El coeficiente de dilatación lineal del recipiente.

#### Solución:

• Sustituyendo en la ecuación  $V_f = V_0 \times [1 + (\alpha \times \Delta T)]$ , tenemos:

$$\Delta V_{\text{Hg}} = 1.000 \times 0,00018 \times 100 = 18 \text{ cm}^3$$

•  $\Delta V_v = \Delta V_{\text{Hg}} - \Delta V_{\text{desalojado}} = 18 \text{ cm}^3 - 15 \text{ cm}^3 = 3 \text{ cm}^3$

•  $\alpha = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta T}$  Sustituyendo, tenemos  $10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .

### Actividad propuesta

**1.4.** Calcula el coeficiente de dilatación de un cuerpo que varía su longitud de 1 m hasta 0,99435 m cuando la temperatura pasa de 0 a  $-50 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### Enlaces web de interés

<http://www.idae.es>

Puedes consultar el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los edificios (RITE) y, en el apartado de dilatación, aparecen indicaciones sobre las dilataciones en tuberías.

<http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esofisicaquimica/>

Podrás realizar ejercicios de escalas termométricas, dilataciones, etc.

- Las dimensiones nos sirven para caracterizar una cantidad física. Las unidades son magnitudes arbitrarias utilizadas para medir esas dimensiones.

Dimensión	Unidades
Longitud (L)	metro (m) en el SI y los pies (ft) y las pulgadas (in) en el sistema anglosajón
Masa (M),	kilogramo (kg) y, en el sistema anglosajón, es la libra masa (lbm)
Fuerza (F)	newton (N)
Peso (pe)	newton (N) y kilopondio (kp)
Energía (E)	julio (J), kilojulio (kJ), kilocalorías (kcal), Btu, frigoría (fg) y kilovatiohora (kWh)
Potencia (P)	vatio (W), kilovatio (kW), kcal/h, Btu/h
Presión (p)	pascal (Pa), kilopascal (kPa), megapascal (MPa), bar (bar), atmósfera de presión (atm), metros de columna de agua (mca), milímetros de columna de mercurio (mmHg) y psi
Temperatura (T)	kelvin (K), Rankine (R), Fahrenheit (°F) y Celsius (°C)

- La termodinámica es la ciencia que se dedica al estudio de la relación entre el calor y otras formas de energía. Un sistema aislado es aquel en el que no puede intercambiarse ni materia ni energía entre el sistema y el entorno. Un sistema cerrado es aquel en el que puede haber intercambio de energía, pero no de materia, entre el sistema y el entorno. Un sistema abierto es aquel en el que puede haber intercambio de materia y de energía con el entorno.
- La primera ley de la termodinámica, también llamada *principio de conservación de la energía*, nos dice que la energía ni se crea ni se destruye, tan solo se transforma.
- La segunda ley de la termodinámica nos dice que todo proceso cíclico cuyo único fin sea el de transferir energía en forma de calor de una región de mayor temperatura a otra de menor temperatura es imposible. Esto se debe a que todos los procesos de transferencia de calor implican transporte y transformación de energía.
- Un proceso termodinámico es el cambio de un sistema desde unas condiciones iniciales hasta otras condiciones finales. Existen distintos tipos de procesos: isobárico (presión constante), isotérmico (temperatura constante), isocórico (volumen específico constante), adiabático (no intercambia calor con su entorno) y, por último, isentrópico (adiabático reversible).
- Normalmente, al aumentar la temperatura aumenta el volumen de los cuerpos y este fenómeno recibe el nombre de *dilatación de los cuerpos*. Según sea la forma del cuerpo, podremos tener distintos tipos de dilataciones:

– Dilataciones lineales (en una dimensión):

$$L_f = L_0 \times [1 + (\alpha \times \Delta T)]$$

– Dilataciones superficiales (en dos dimensiones):

$$S_f = S_0 \times [1 + (\beta \times \Delta T)]$$

– Dilataciones cúbicas (en tres dimensiones):

$$V_f = V_0 \times [1 + (\gamma \times \Delta T)]$$

Los líquidos y los gases tan solo tendrán dilatación cúbica porque su tamaño varía en las tres dimensiones con la temperatura.

## Actividades de comprobación

- 1.1.** La masa y el peso que tiene un cuerpo:
- Son magnitudes con el mismo valor.
  - Son magnitudes proporcionales entre ellas.
  - Son magnitudes que no varían.
  - No tienen relación entre sí.
- 1.2.** Si dividimos fuerza entre superficie, ¿qué magnitud tiene estas unidades?
- La de la fuerza.
  - La de la masa.
  - La de la densidad.
  - La de la presión
- 1.3.** Observamos la medida de cuatro termómetros distintos que marcan una temperatura diferente cada uno. ¿Podrías decir cuál de todos es el que tiene menor temperatura?
- 474 K.
  - 240 °C.
  - 107 °F.
  - 100 °F.
- 1.4.** Si se ejerce una fuerza de 500 N de forma perpendicular sobre una superficie de 0,01 m<sup>2</sup>, la presión tendrá un valor de:
- 500.000 Pa.
  - 0,5 bar.
  - 50 kPa.
  - 50.000 bar.
- 1.5.** En la unidad hemos visto tres tipos de dilataciones, pero ¿cuál es típica de gases y líquidos?
- Lineal.
  - Los líquidos y gases no se dilatan.
  - Cúbica.
  - Superficial.
- 1.6.** La dilatación superficial se mide en:
- cm<sup>2</sup>
  - m
  - cm<sup>3</sup>
  - mm
- 1.7.** Si un cuerpo sufre una dilatación superficial, el aumento de las dimensiones del cuerpo se producirá en:
- Una dirección.
  - Dos direcciones.
  - Tres direcciones.
  - Ninguna dirección.
- 1.8.** La escala absoluta de temperaturas surge de la existencia del cero absoluto. Pero ¿cuál es su unidad de medida?
- Kelvin.
  - Fahrenheit.
  - Centígrada.
  - Celsius.
- 1.9.** La termodinámica estudia:
- Las relaciones entre la energía mecánica.
  - Las relaciones entre los procesos termodinámicos isobáricos, isocóricos y adiabáticos.
  - La relación entre el calor y otras formas de energía.
  - Ninguna de las anteriores.
- 1.10.** Un sistema termodinámico es:
- La región del espacio limitada por una frontera.
  - La región del espacio que tiene contacto directo con la energía, el calor y el trabajo realizado fuera de la misma.
  - La región del universo limitada por una superficie con calor constante.
  - La región del espacio limitada por una superficie real, fuera de la cual existe materia.
- 1.11.** ¿Podrías decir qué parte del universo no forma parte del sistema?
- La frontera.
  - El contorno.
  - El entorno.
  - Ninguna de las anteriores.
- 1.12.** Un ejemplo de sistema termodinámico:
- Son 2 kg de combustible en una caldera a 1.500 °C.
  - Son 300 g de níquel divididos en tres partes.
  - Son 200 g de hidrógeno en estado líquido.
  - Calor específico de una sustancia sólida dentro de un calorímetro.
- 1.13.** Un motor de un coche es:
- Un sistema termodinámico aislado.
  - Un sistema termodinámico abierto.
  - Un sistema termodinámico isotérmico.
  - Un sistema termodinámico cerrado.



## Actividades de aplicación

- 1.14.** Completa la siguiente tabla para obtener todas las medidas necesarias para los tubos de cobre de una instalación frigorífica:

Diámetro exterior (in)	Diámetro exterior (mm)	Espesor pared (mm)	Diámetro interior (mm)	Diámetro interior (in)
1/4		0,70		
3/8		0,88		
1/2		1		
5/8		1		
3/4		1,14		
7/8		1,16		
9/8		1,19		
1		1,20		

- 1.15.** Se coloca una masa de 25 kg sobre un clavo que tiene la punta de sección  $0,1 \text{ mm}^2$  y que está a punto de penetrar en una madera. Determina en bares y en pascales qué fuerza y qué presión ejerce en la madera.
- 1.16.** Un buceador que lleva unas gafas de  $60 \text{ cm}^2$  de superficie está sumergido en agua de densidad  $1,03 \text{ g/cm}^3$  a 25 m de profundidad. Indica qué fuerza se ejerce sobre las gafas y qué presión soporta.
- 1.17.** Expresa en el Sistema Internacional de Unidades los siguientes valores de presión: 5 atm, 896 mb,  $3 \text{ kp/cm}^2$  y 560 mmHg.

- 1.18.** Un cuerpo de forma cúbica tiene una arista de 30 cm. Si al elevar la temperatura  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  la arista se ha dilatado un 5 %. Calcula su coeficiente de dilatación lineal y su coeficiente de dilatación cúbica y determina su volumen final.

- 1.19.** A una temperatura de  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ , una varilla de aluminio tiene una longitud de 5 m. Si  $\alpha_{Fe} = 2,4 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , establece su longitud al aumentar la temperatura a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

- 1.20.** Una esfera hueca de acero a  $26 \text{ }^\circ\text{C}$  tiene un volumen de  $0,3 \text{ m}^3$ . Si el coeficiente de dilatación cúbica del acero es  $34,5 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , calcula qué volumen final tendrá a  $-6 \text{ }^\circ\text{C}$  en  $\text{m}^3$  y en litros y señala cuánto disminuyó su volumen en litros.

- 1.21.** La longitud de una barra de acero es de 2 m, obteniéndose para un incremento de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  un incremento de longitud de una barra de acero es de  $0,005 \text{ m}$  de longitud. Calcula: el coeficiente de dilatación lineal del acero, su volumen con un incremento de  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  si tiene una sección de  $20 \text{ cm}^2$ , y las temperaturas ( $20 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ ) en K y  $^\circ\text{F}$ .

- 1.22.** Por un aparato de aire acondicionado pasan  $2 \text{ m}^3$  de aire cada segundo a una habitación. Si la densidad del aire a la temperatura que está trabajando es de  $0,0013 \text{ g/cm}^3$ , establece la masa de aire que pasa a la habitación en un segundo.

- 1.23.** Un depósito grande de agua, utilizado para el almacenaje de refrigerante, tiene una base que mide 2 por 3 m. Si la altura del depósito es de 2,5 m y está completamente lleno de agua, indica la presión ejercida por el agua en la base del depósito.

- 1.24.** Expresa las siguientes temperaturas en las otras dos escalas:  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ , 140 K,  $32 \text{ }^\circ\text{F}$  y  $25 \text{ }^\circ\text{F}$ .

## Actividades de ampliación

- 1.25.** En tu vida cotidiana, te encuentras con muchos ejemplos de sistemas abiertos, cerrados y aislados. Indica dos ejemplos de cada uno de ellos.
- 1.26.** Unos buzos explorando aguas a una profundidad de 30 m encuentran un barco sumergido y, para poder entrar, necesitan abrir una puerta. Calcula la fuerza mínima

que deberán ejercer para abrir esa puerta. Datos: la superficie de la puerta es de  $1 \text{ m}^2$  y la densidad del agua del mar es de  $1.030 \text{ kg/m}^3$ .

- 1.27.** Si la OCU nos dice que una dieta equilibrada se compone de 1.500 calorías diarias, averigua a cuántos julios equivale esa cantidad.

- 1.28.** En 1911, Eran Roald Amundsen fue el primer explorador en llegar a la Antártida. Al caminar sobre la superficie helada, sabiendo que la suela de sus botas tiene una superficie de  $300 \text{ cm}^2$  y que su peso era de  $80 \text{ kg}$ :
- Establece qué presión ejercía su cuerpo sobre la superficie.
  - Debido a la posibilidad de sufrir una caída, se colocó unos esquís para desplazarse con mayor facilidad. Si la superficie en contacto con el suelo es de  $2.900 \text{ cm}^2$ , calcula el valor de la presión.
- 1.29.** Si disponemos de una botella de gas refrigerante y medimos su presión con un manómetro, esta nos indica  $6,7 \text{ bar}$ . Indica la presión de la botella en  $\text{atm}$  y en  $\text{Pa}$ .
- 1.30.** Un cuerpo metálico con forma de cubo aumenta su volumen un  $1,5 \%$  cuando su temperatura se incrementa en  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Calcula su coeficiente de dilatación cúbica y lineal.
- 1.31.** Averigua el coeficiente de dilatación lineal de un tubo empleado en una máquina para secar *pellet* para ser el combustible de una caldera de biomasa que varía su longitud de  $2 \text{ m}$  a  $1,997 \text{ m}$  cuando la temperatura varía en  $-50 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- 1.32.** En un día de verano, si un cuerpo tiene un coeficiente de dilatación de  $0,00006 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , una longitud inicial de  $3 \text{ m}$  y la temperatura pasa de  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , determina su longitud final.

# Cambios de estado y calorimetría



A diario, vemos transformaciones de distintas sustancias, principalmente agua, entre sus distintas fases: sólido, líquido y gas. Calor y temperatura son términos relacionados, así sabemos que la temperatura permanece constante durante los cambios de estado, aunque se esté absorbiendo o cediendo calor. De la misma forma, cuando tenemos una sustancia en un estado de la materia y aplicamos calor, su temperatura aumenta siempre que no se produzca un cambio de estado.

El comportamiento de las sustancias al aplicarles calor es diferente según sea la sustancia, no es lo mismo tener agua que alcohol evaporándose, la velocidad de evaporación será distinta, esto depende del calor específico de la sustancia, es decir, de la capacidad que tenga para absorber calor. Además, los gases tendrán comportamientos distintos si se llevan a cabo transformaciones manteniendo constantes algunas de sus condiciones: presión, temperatura o volumen.

# 2

## Contenidos

- 2.1. Concepto de sustancia pura
- 2.2. Procesos de cambio de estado
- 2.3. Líquido subenfriado y líquido saturado
- 2.4. Vapor sobrecalentado y vapor saturado
- 2.5. Calor latente y calor sensible
- 2.6. Diagramas de propiedades
- 2.7. Leyes de los gases
- 2.8. Calor específico
- Resumen
- Actividades finales

## Objetivos

- Conocer los distintos cambios de estado de la materia.
- Distinguir líquido subenfriado y líquido saturado.
- Distinguir vapor sobrecalentado y vapor saturado.
- Diferenciar calor latente y sensible.
- Aplicar las ecuaciones de gases.
- Aplicar calor específico para la resolución de problemas.

## 2.1. Concepto de sustancia pura

La **sustancia pura** es aquella que tiene una composición química que no varía, es decir, siempre es la misma. Una sustancia pura puede ser:

- **Un elemento químico**, como, por ejemplo: el nitrógeno, el hidrógeno, etc.
- **Un compuesto químico**, por ejemplo: el agua, el dióxido de carbono, etc.
- **Una mezcla de varios elementos o compuestos químicos**. Un ejemplo es el aire, que está compuesto por varios gases distintos [nitrógeno (78 %), oxígeno (21 %), vapor de agua (variable entre el 0 y el 7 %), ozono, dióxido de carbono, hidrógeno y algunos gases nobles como el criptón o el argón, (es decir, un 1 % de otras sustancias)], pero su composición química no varía. Una mezcla homogénea en la que no podemos identificar los componentes a simple vista se considera como sustancia pura, pero no las heterogéneas o no uniformes.

Una mezcla de varios estados de una sustancia pura sigue siendo una sustancia pura. Así pues, si mezclamos agua en estado líquido y en estado sólido, sigue siendo una sustancia pura.

### 2.1.1. Estados de la materia

Las sustancias puras pueden encontrarse en distintos estados de agregación:

- **Estado sólido**. Las atracciones intermoleculares son grandes y las moléculas que forman la materia ocupan posiciones fijas formando una estructura tridimensional. Los espacios intermoleculares son pequeños, por ello, las fuerzas de enlace son grandes.



Figura 2.1. Fases o estados de agregación de la materia

- **Estado líquido**. Las partículas no pueden mantener las posiciones fijas que tienen en estado sólido y se mueven. Aunque su volumen no varía, su forma sí porque no mantienen una posición fija, lo que les permite fluir, es decir, desplazarse.
- **Estado gaseoso**. Las moléculas se mueven continuamente al azar, chocando con las otras moléculas y con las paredes del recipiente que las contiene. Al igual que los líquidos, los gases pueden fluir porque sus moléculas no ocupan una posición fija. Es por esto que a los líquidos y a los gases también se los denomina *fluidos*.

## 2.2. Procesos de cambio de estado

Hay muchas situaciones en las que podemos encontrar sustancias en distintos estados. Así, por ejemplo, cuando queremos tener cubitos de hielo, metemos el agua en estado líquido en el congelador y la sacamos en estado sólido o en las máquinas frigoríficas donde el fluido que contienen las tuberías (refrigerante) va cambiando de estado líquido a gaseoso, y viceversa.

Cuando una sustancia cambia de estado, su estructura interna no cambia. Para ver los distintos cambios de estado, utilizaremos el agua, que es nuestro ejemplo más cercano.



Figura 2.2. Procesos de cambio de estado

Si transmitimos calor al hielo (agua en estado sólido), aumenta su temperatura hasta llegar a  $0^{\circ}\text{C}$  a 1 atm de presión (presión normal o atmosférica). A esta temperatura, tenemos el punto de fusión del agua. Cada sustancia posee un punto de fusión distinto. Durante el proceso de **fusión**, aunque se continúa añadiendo calor, la temperatura perma-

nece constante a 0 °C hasta que se funde todo el hielo si la presión se mantiene constante también. El cambio de estado inverso recibe el nombre de *solidificación* y la cantidad de calor que hay que aplicar para el cambio de estado será el mismo que para el proceso de *fusión*.

Cuando aplicamos calor al agua en estado líquido, su temperatura aumentará hasta llegar a la temperatura de evaporación, que son los 100 °C a 1 atm de presión. En ese momento, el agua comienza a evaporarse en la superficie del líquido y la temperatura se mantendrá constante hasta que la última gota de líquido se haya evaporado si la presión se mantiene también constante. Cuando la vaporización tiene lugar solo en la superficie, se denomina *evaporización* y, si tiene lugar en toda la masa de líquido formándose burbujas de vapor en su interior, se denomina *ebullición*. El cambio inverso a la evaporación recibe el nombre de *condensación* o *licuación*.

El cambio de estado de sólido a gas sin pasar por estado líquido se llama *sublimación*. Un ejemplo de sublimación se produce cuando abres la puerta de un frigorífico y sale vapor, esto se debe a que el hielo se comprime y, al abrir la puerta, sale en forma de vapor. El cambio inverso de gas a sólido recibe el nombre de *sublimación inversa* o *cristalización*.

### SABÍAS QUE...

Aunque el agua hierve a 100 °C si la presión es de 1 atm, el punto de ebullición varía. Por ejemplo, a bajas presiones, el agua hierve a una temperatura que es inferior a 100 °C. En la cumbre del Mont Blanc, a unos 4.800 m sobre el nivel del mar, donde la presión atmosférica media es de 0,55 atm, el agua hierve a unos 84 °C.

Con presiones superiores a 1 atm, el agua hierve a más de 100 °C, por ejemplo, en las calderas de vapor a alta presión, el agua hierve a 200 °C.

## 2.3. Líquido subenfriado y líquido saturado

Cuando tenemos agua en estado líquido a 30 °C y a 1 atm de presión, tenemos agua en estado **líquido subenfriado** o también llamado *líquido comprimido*. Cuando decimos que es líquido subenfriado, nos referimos a que no está a punto de evaporarse, ya que está muy lejos de los 100 °C a 1 atm de presión, que es cuando se produce la evaporación.

Cuando tenemos agua en estado líquido a 100 °C y 1 atm de presión, decimos que el agua está en estado de **líquido saturado**. Esto quiere decir que está a punto de evaporarse y que, en el momento en el que se trasfiera calor a la masa de agua, esta se evaporará.

## 2.4. Vapor sobrecalentado y vapor saturado

Si tenemos una masa de vapor de agua que acaba de evaporarse y esta a 100 °C, en el momento en el que ceda algo de calor, comenzará el cambio de estado y, por tanto, aparecerán gotas de agua. Decimos que tenemos **vapor saturado** cuando tenemos vapor a punto de condensarse, es decir, a punto de pasar a estado líquido.

La sustancia que está cambiando de estado de líquido a vapor recibe el nombre de *mezcla saturada de líquido-vapor*.

Cuando tenemos vapor de agua a 200 °C y 1 atm de presión, tenemos agua en estado **vapor sobrecalentado**. Esto quiere decir no está a punto de condensarse, pues tendría que ceder mucho calor para llegar a tener una temperatura de 100 °C para que pudiera producirse el cambio de estado y que el vapor pasará a estado líquido

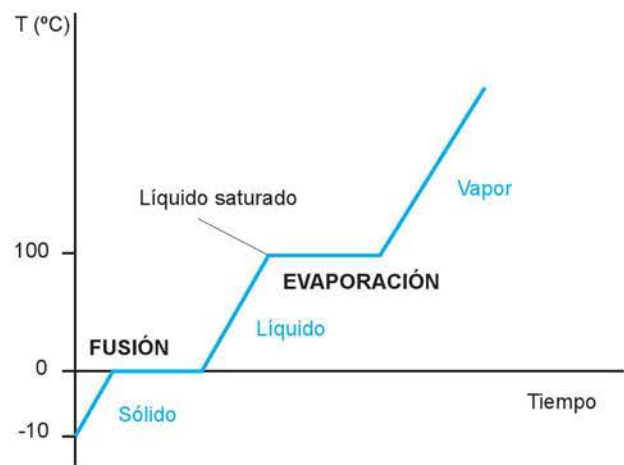


Figura 2.3. Proceso exotérmico. Gráfica de cambio de estado fusión y evaporación para el agua



Figura 2.4. Proceso endotérmico. Gráfica cambio de estado condensación y solidificación para el agua

La temperatura a la que una sustancia empieza a hervir manteniendo constante la presión se llama *temperatura de saturación*. Así, por ejemplo, a 1 atm de presión la temperatura de saturación del agua es de 100 °C.

La presión a la que una sustancia empieza a hervir manteniendo constante la temperatura se llama *presión de saturación*. De la misma manera que en el caso anterior, a 100 °C, la presión de saturación del agua es 1 atm.

Los valores de temperatura de saturación y de presión de saturación son característicos de cada sustancia y se recogen en curvas de saturación (T-P) de cada sustancia.

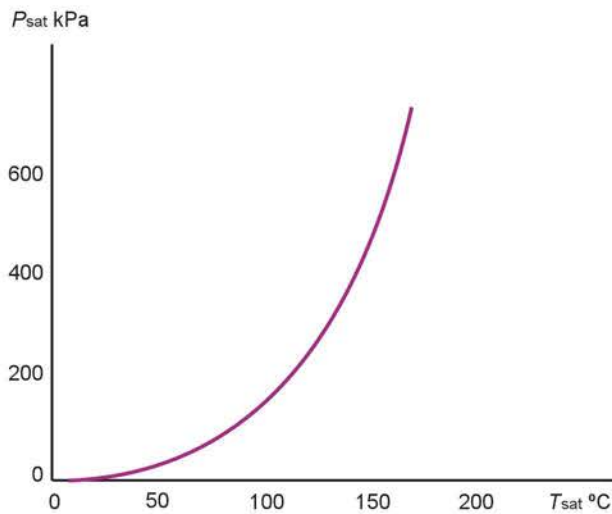


Figura 2.5. Curva de saturación del agua (T-P)

Un ejemplo en el que podemos ver con claridad cómo afecta esta relación entre presión y temperatura es en las ollas a presión en las que cocinamos. Puesto que, al aumentar la presión, aumenta la temperatura a la que hierve el agua. Así pues, necesitaremos menor tiempo y menos calor para cocinar porque el agua hierve a temperaturas más altas.

También podemos ver cómo la presión varía con la altura. Cuanto más alto estemos, menor será la presión y, por tanto, menor la temperatura necesaria para que el agua hierva. Por tanto, si cocinamos algo en lo alto de una montaña, tardará más tiempo en cocinarse porque la temperatura a la que hierve el agua será menor.

#### SABÍAS QUE...

Un **proceso exotérmico** es aquel en el que se libera energía y un **proceso endotérmico** es aquel en el que se absorbe energía.

### Actividad resuelta

2.1. Explica los siguientes casos:

- ¿Por qué un vaso que contiene cubitos de hielo y agua se humedece por el exterior?
- ¿Por qué el aire suele ser más seco en verano que en invierno? ¿Por qué se dice que la calefacción reseca el ambiente?
- ¿Por qué el vapor de agua a 100 °C produce quemaduras mucho más graves que si es agua en estado líquido a 100 °C?

Solución:

- El agua fría refresca el vaso y, al descender la temperatura, el vapor de agua que hay en el ambiente puede llegar a condensarse y a humedecer el vaso por el exterior.
- El aire está más *seco* cuando la cantidad de vapor de agua que contiene es menor. Cuando aumenta la temperatura del aire, también aumenta la presión del vapor de agua, por lo tanto, el aire se hace más *seco*.
- Porque, además de la temperatura, para que el agua llegue a los 100 °C, se cede el calor del cambio de estado, es decir, el calor de evaporación.

### Actividad propuesta

2.1. Explica si, en el monte Everest, el agua hervirá a una temperatura superior o inferior a la normal.

## 2.5. Calor latente y calor sensible

La cantidad de energía absorbida o cedida durante un proceso de cambio de estado se denomina *calor latente* al no provocar un aumento de la temperatura en la sustancia.

La cantidad de energía absorbida durante el proceso de fusión se llama *calor latente de fusión* y es igual a la energía cedida durante la solidificación. La cantidad de energía absorbida durante el proceso de evaporización se denomina *calor latente de vaporización* y es igual a la cantidad de energía cedida durante el proceso condensación.

En cambio, la energía aportada para conseguir un aumento de la temperatura es lo que se denomina *calor sensible*. Este no provoca cambio de estado.

No todas las sustancias tienen el mismo calor latente, cada sustancia tiene unos calores latentes de fusión y vaporización distintos. Por ejemplo, el agua tiene un calor de vaporización alto ya que es necesario aportar mucha energía para romper los enlaces de hidrógeno, llamados puentes de hidrógeno.

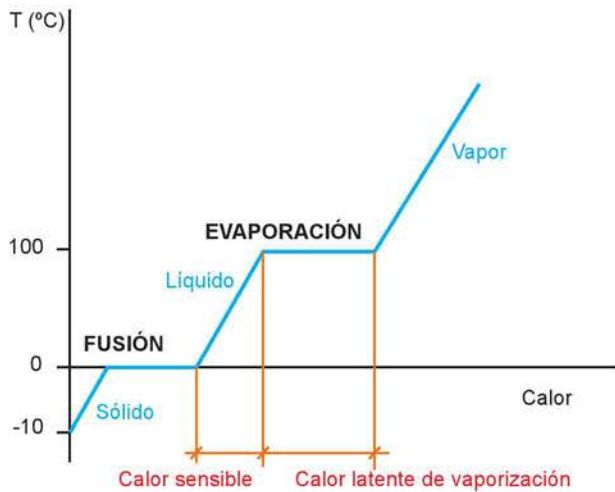


Figura 2.6. Gráfico de tramos de calor sensible y latente

## 2.6. Diagramas de propiedades

Existen múltiples diagramas para recoger las propiedades termodinámicas de las sustancias, como son:

- Diagrama temperatura-volumen específico (presión constante).
- Diagrama presión-volumen específico (temperatura constante).

- Diagrama presión-temperatura (volumen específico constante).
- Diagrama temperatura-entropía.
- Diagrama presión-entropía.

Vamos a centrar el estudio en el **diagrama presión-entalpía (p-h)** o también llamado **diagrama de Mollier**, cuya principal aplicación es para los ciclos de refrigeración que emplean las máquinas térmicas.

En el eje vertical, tenemos la escala de presiones. Normalmente, sus unidades serán MPa o bar. En el eje horizontal, tendremos la escala de la entalpía. Normalmente, sus unidades serán kJ/kg.

Como podemos comprobar, vemos dos líneas que separan las distintas zonas del diagrama:

- **Línea de líquido saturado.** En todos los puntos de la línea, el fluido se encuentra al 100 % en estado líquido, pero está a punto de comenzar el cambio de estado.
- **Línea de vapor saturado.** En todos los puntos de la línea, el fluido se encuentra al 100 % en estado de vapor, pero está a punto de comenzar el cambio de estado.

Vamos a describir las zonas en las que podemos dividir el diagrama:

- **Zona de líquido subenfriado.** Es la zona a la izquierda de la línea de líquido saturado.

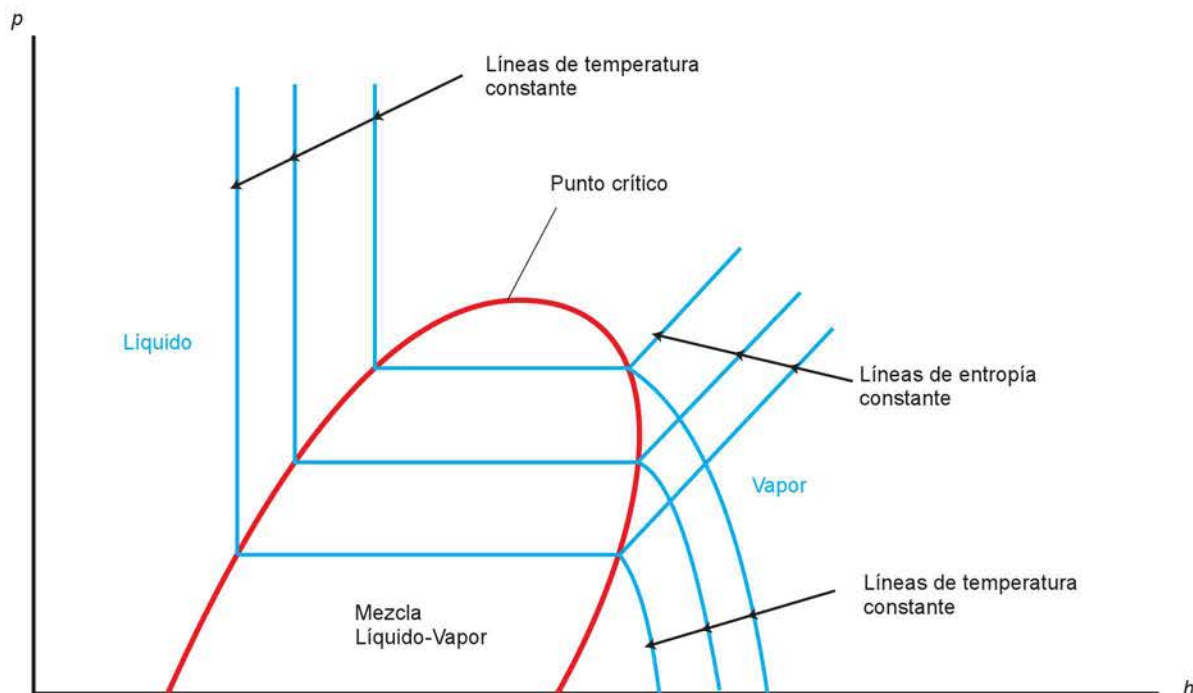


Figura 2.7. Diagrama presión-entalpía (p-h)

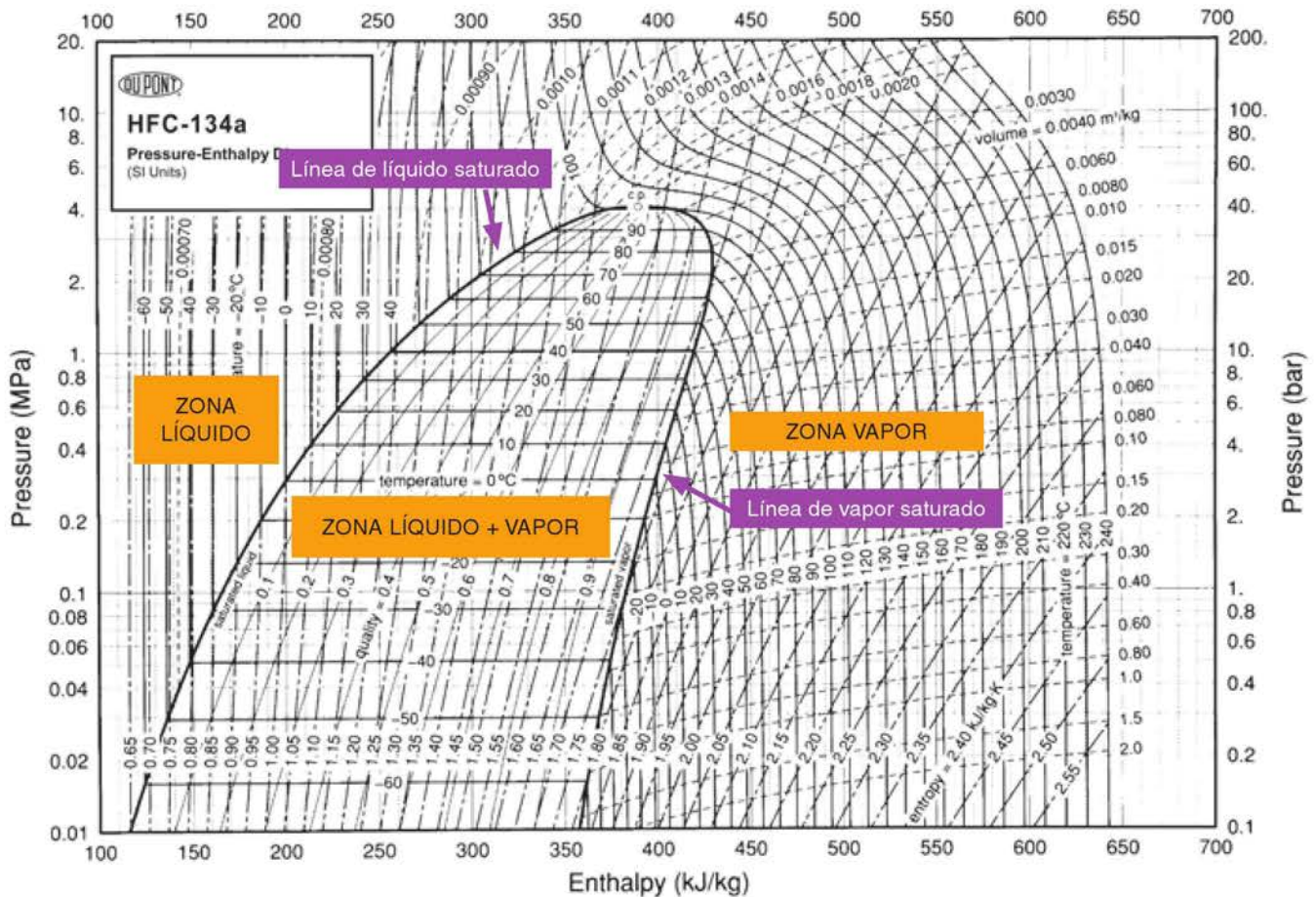


Figura 2.8. Zonas del diagrama presión-entalpía ( $p$ - $h$ ) (cortesía de Dupont)

- **Zona de vapor sobrecalentado.** Es la zona a la derecha de la línea de vapor saturado.
- **Zona de mezcla de líquido-vapor.** Es la región que queda encerrada entre la línea de líquido saturado y la línea de vapor sobrecalentado.

El **punto crítico** es el punto en el que se unen las líneas de vapor saturado y de líquido saturado. La temperatura, la presión y el volumen específico de una sustancia en el punto crítico se denominan, respectivamente, *temperatura crítica*  $T_{cr}$ , *presión crítica*  $P_{cr}$  y *volumen específico crítico*  $V_{cr}$ . A presiones mayores de la presión crítica, no es posible el cambio de estado de vapor a líquido (se considera estado de vapor).

Además de las líneas descritas, existen otras que son las siguientes:

- **Líneas de temperaturas.** Su unidad suele ser  $^{\circ}\text{C}$ .

- **Líneas de presiones.** Son líneas horizontales, su escala está en el eje de ordenadas. Su unidad suele ser MPa o bar.
- **Líneas de entalpías.** Son líneas verticales, su escala está en el eje de abscisas. Su unidad suele ser kJ/kg.
- **Líneas de volúmenes específicos.** Su valor va aumentando a medida que vamos hacia abajo. Su unidad suele ser  $\text{dm}^3/\text{kg}$  o  $\text{m}^3/\text{kg}$ .
- **Líneas de entropía.** Suelen expresarse en kcal/kg  $^{\circ}\text{C}$ .
- **Líneas de calidad de la mezcla.** Están en la zona de mezcla de líquido-vapor. Nos indican el porcentaje de sustancia que se encuentra en estado de vapor. Cuanto más nos acerquemos a la línea de líquido saturado, su valor será más pequeño ya que tendremos menor porcentaje de sustancia en estado de vapor. Por ejemplo, en la línea de 0,2, nos indica que tenemos un 20 % de vapor y un 80 % de líquido.



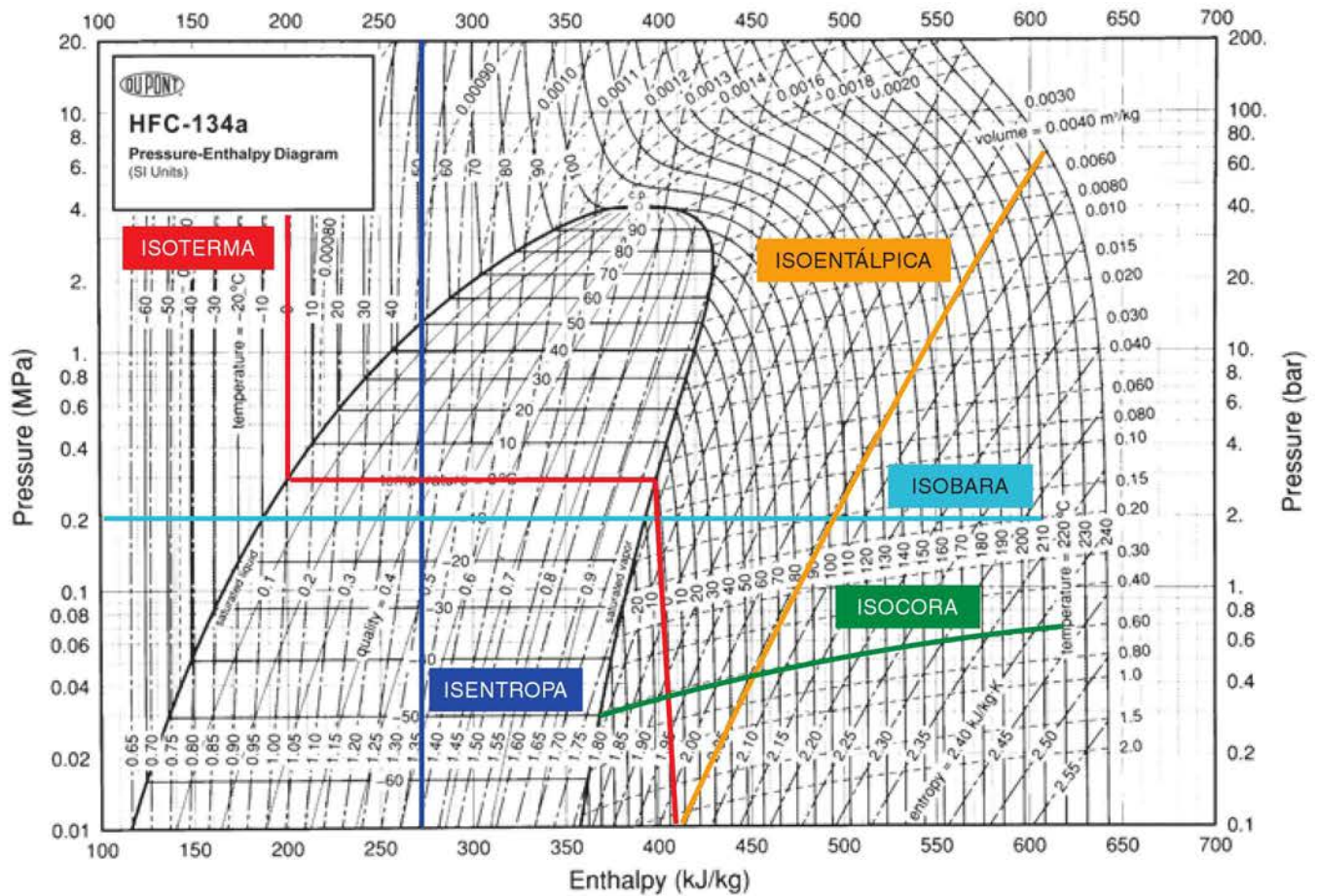


Figura 2.9. Líneas del diagrama presión-entalpía (cortesía de Dupont)

■ SABÍAS QUE...

La **entalpía** (h) es la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico y la **entropía** (S) es la energía que no puede utilizarse para producir trabajo. En un proceso termodinámico reversible e isotérmico, el cambio de entropía es igual al calor intercambiado entre el sistema y el medio dividido por su temperatura absoluta.

$$\Delta S = \Delta Q/T$$

el producto de la presión y del volumen se mantiene también constante. Se tratará de un proceso isotérmico porque se produce a temperatura constante.

## 2.7. Leyes de los gases

Para relacionar las propiedades características de los gases (presión, temperatura, volumen, entalpía y energía interna), se utilizan tres leyes fundamentales:

1. **Ley de Boyle-Mariotte.** Nos dice que, para una cierta cantidad de gas, manteniendo constante la temperatura,

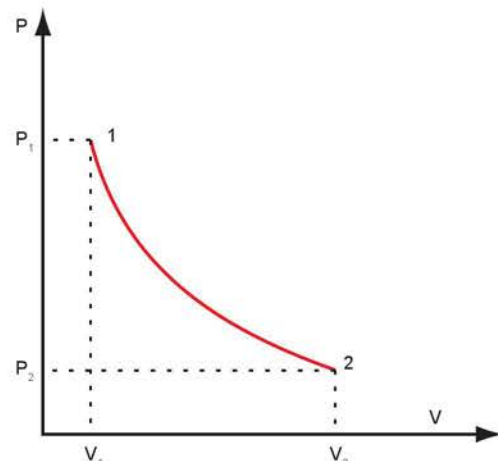


Figura 2.10. Ley de Boyle-Mariotte

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2 \quad (T \text{ constante})$$

Siendo  $P_1$  la presión inicial,  $V_1$  el volumen inicial,  $P_2$  la presión final y  $V_2$  el volumen final.

2. **Ley de Gay-Lussac.** Nos dice que, manteniendo constante el volumen de una cierta cantidad de gas, el cociente entre presión y temperatura (en kelvin) se mantiene constante. Se trata de un proceso isobárico porque se produce a un volumen perseverante.

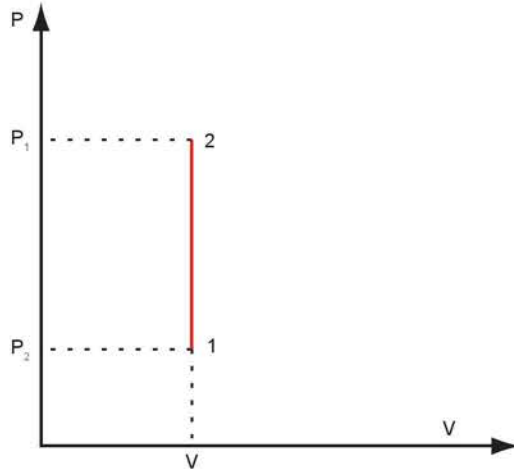


Figura 2.11. Ley de Gay-Lussac

$$P_1/T_1 = P_2/T_2 \quad (V \text{ constante})$$

Siendo  $P_1$  la presión inicial,  $T_1$  la temperatura inicial,  $P_2$  la presión final y  $T_2$  la temperatura final.

3. **Ley de Charles.** Nos dice que, manteniendo constante la presión de una cierta cantidad de gas, el cociente entre volumen y temperatura permanece también constante. Se trata de un proceso isocórico o isométrico porque se produce a una presión perseverante.

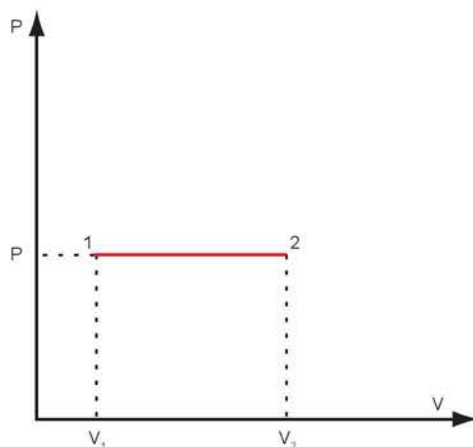


Figura 2.12. Ley de Charles

$$V_1/T_1 = V_2/T_2 \quad (P \text{ constante})$$

Siendo  $V_1$  el volumen inicial,  $T_1$  la temperatura inicial,  $V_2$  el volumen final y  $T_2$  la temperatura final.

Estas tres ecuaciones pueden resumirse en una: **la ecuación de los gases ideales o perfectos.**

$$P_1 \times V_1/T_1 = P_2 \times V_2/T_2$$

Siendo  $P_1$  la presión inicial,  $V_1$  el volumen inicial,  $T_1$  la temperatura inicial,  $P_2$  la presión final,  $V_2$  el volumen final y  $T_2$  la temperatura final.

Pero **¿qué es un gas ideal o perfecto?** Podemos tener varias respuestas a esta pregunta:

- Es un gas formado por partículas sin atracción ni repulsión entre ellas y cuyos choques son perfectamente elásticos (conservación de momento y de energía cinética).
- Es un gas que cumple las leyes de Mariotte, Gay-Lussac y de Charles.
- Es un gas ideal porque no existe ningún gas que cumpla estas condiciones, pero sí los hay que se aproximan mucho. En condiciones normales de presión y de temperatura, la mayoría de los gases reales se comportan como un gas ideal. El aire, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, gases nobles, y algunos gases pesados como el dióxido de carbono pueden ser tratados como gases ideales con un error despreciable (menos del 1 %).

Otra de las preguntas que cabe realizarse es **¿qué aplicación tendrá para las instalaciones térmicas?** La respuesta es que el vapor de agua en el aire de instalaciones de aire acondicionado puede tratarse como un gas ideal porque la presión del vapor de agua es muy baja. El que no debe tratarse como un gas ideal es el vapor de refrigerante en las máquinas frigoríficas, en este caso, se utilizarán diagramas y tablas.

La ley de los gases ideales o perfectos también puede utilizarse para **mezclas de gases** siempre que cada uno de esos gases se comporte como un gas ideal. La presión de una mezcla de gases es igual a la suma de las presiones parciales de cada uno de los gases si solo uno ocupase todo el volumen de la mezcla y a la misma temperatura. Esta ley se denomina **ley de Dalton de las presiones parciales.**

$$P_{\text{total}} = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

#### SABÍAS QUE...

Las palabras gas y vapor a menudo se utilizan indistintamente, pero sí existe diferencia entre ellas. Hablamos de **gas** cuando su temperatura está por encima de la temperatura crítica y hablamos de **vapor** cuando estamos por debajo de la temperatura crítica, es decir, más próximos a la condensación y, por tanto, la densidad será alta.

### Actividad resuelta

**2.2.** Cierta volumen de un gas se encuentra a una presión de 970 mmHg cuando su temperatura es de 25 °C. ¿A qué temperatura deberá estar para que su presión sea 760 mmHg?

#### Solución:

Primero, expresamos la temperatura en kelvin:

$$T_1 = (25 + 273,15) = 298,15 \text{ K}$$

Ahora sustituimos los datos en la ecuación  $P_1/T_1 = P_2/T_2$ :

$$970 \text{ mmHg}/298,15 \text{ K} = 760 \text{ mmHg}/T_2$$

Si se despeja  $T_2$ , la nueva temperatura es de 233,5 K o de -39,5 °C.

## 2.8. Calor específico

No todas las sustancias aumentan su temperatura de igual modo al recibir la misma cantidad de calor, por lo tanto, diremos que cada sustancia tiene un calor específico. Por ejemplo, si calentamos la misma masa de agua y de alcohol en dos recipientes, cuando lleguemos a 78 °C, el alcohol empezará a hervir, pero el agua no hervirá hasta llegar a 100 °C. Diremos que el alcohol es más fácil de calentar (y enfriar) que el agua, debido a que tiene menor calor específico.

El **calor específico (Ce)** de una sustancia es la energía necesaria para aumentar en 1 °C la temperatura de 1 kg de una masa de esa sustancia.

$$C_e = Q/(M \times \Delta T)$$

Donde  $C_e$  es el calor específico de una sustancia (kJ/kg, K, kJ/kg °C o kcal/kg °C),  $Q$  es la cantidad de calor cedido o absorbido (kcal o kJ),  $M$  es la masa de la sustancia (kg) y  $\Delta T$  es el incremento de temperatura que experimenta la sustancia (°C).

### 2.8.1. Calor específico a presión constante y calor específico a volumen constante

El **calor específico a presión constante (Cep)** es la energía necesaria para aumentar la temperatura de 1 kg de masa de una sustancia en 1 °C cuando la presión se mantiene constante.

El **calor específico a volumen constante (Cev)** es la energía necesaria para aumentar la temperatura de 1 kg de masa de una sustancia en 1 °C cuando el volumen se mantiene constante.

### SABÍAS QUE...

En 1761, Joseph Black, investigador centrado en el campo de la termodinámica, se dio cuenta de que, al aplicar calor al hielo, no lo convertía en líquido inmediatamente, sino que el hielo absorbía cierta cantidad de calor sin aumentar su temperatura. A él le debemos conceptos como el *calor específico* y el *calor latente de cambio de estado*.

El cociente entre los calores específicos a presión constante y a volumen constante para una misma sustancia se denomina *coeficiente adiabático* ( $\gamma$ ).

$$\gamma = C_{ep}/C_{ev}$$

En una compresión adiabática se cumple:

$$P_1 \times V_1^\gamma = P_2 \times V_2^\gamma$$

En sustancias incompresibles (la mayoría de los sólidos y de los líquidos), el calor específico a volumen constante y a presión constante tiene el mismo valor, por lo tanto, el coeficiente adiabático toma valor unitario ( $\gamma = 1$ ).

El valor del **calor específico del agua** se considera constante [1 cal/(g × K)] ya que, aunque se varíe la temperatura, su valor no varía más del 1 %. Así pues, se toma como valor el calor específico a 15 °C, que es 1 cal/(g × K).

### SABÍAS QUE...

El calor específico de muchos cuerpos puede medirse con un **calorímetro**. Se trata de un termo con un termómetro.



## Actividad resuelta

2.3. Una sustancia de masa 697 g y de calor específico de 0,1 cal/g °C está a la temperatura de 8 °C. ¿Qué calor tendrá que absorber o emitir para pasar a la temperatura de 35 °C?

## Solución:

El calor viene dado por  $Q = M \times C_e \times \Delta T$ . Sustituyendo los valores, tenemos:

$$Q = 697 \times 0,1 \times (35 - 8) = 1.881,9 \text{ cal}$$

Como el calor tiene signo positivo, quiere decir que el calor es absorbido.

## Actividad resuelta

2.4. Un sólido de 1.200 g de masa y de 0,1 cal/g °C de calor específico se calienta desde los 38 °C hasta que se funde totalmente a la temperatura de 89 °C. Si su calor de fusión es 82 cal/g, ¿cuánto calor ha tenido que absorber?

## Solución:

Para alcanzar la temperatura de fusión, ha necesitado:

$$Q_1 = 1.200 \times 0,1 \times (89 - 38) = 6.120 \text{ cal}$$

Para fundirse, necesitará:

$$Q_2 = 1.200 \times 82 = 98.400 \text{ cal}$$

Así que, en total, ha absorbido:

$$Q_{\text{total}} = Q_1 + Q_2 = 104.520 \text{ cal}$$

## Actividad resuelta

2.5. Determina el calor que tienen que absorber 20 g de hielo a -5 °C para transformarse en vapor a 100 °C. Datos:

- Calor específico del hielo = 2.090 J/(kg K).
- Calor de fusión del hielo = 334.000 J/kg.
- Calor específico del agua = 4.180 J/(kg K).
- Calor de evaporación del agua = 2.260.000 J/kg.

## Solución:

- Se calcula el calor sensible necesario para llegar la temperatura de fusión del agua.

$$Q_1 = M \times C_{e_{\text{hielo}}} \times \Delta T = 0,02 \times 2.090 \times [0 - (-5)] = 209 \text{ J}$$

- Se calcula el calor latente del cambio de estado de hielo a agua (fusión).

$$Q_2 = M \times q_{\text{fusión}} = 0,02 \times 334.000 = 6.680 \text{ J}$$

- Se calcula el calor sensible necesario para llegar al punto de ebullición.

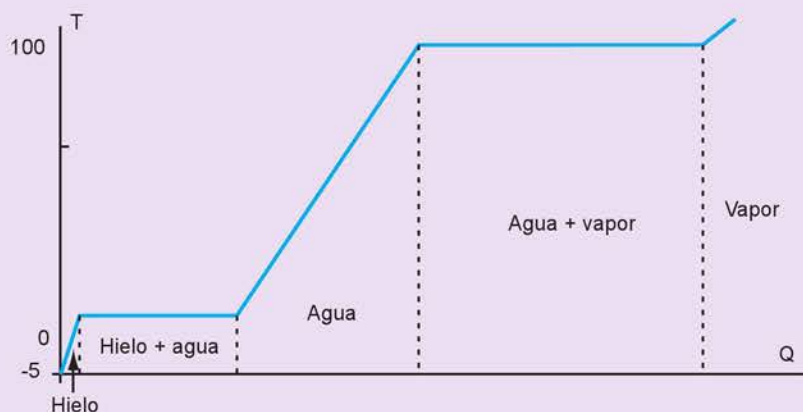
$$Q_3 = M \times C_{e_{\text{agua}}} \times \Delta T = 0,02 \times 4.180 \times (100 - 0) = 836.000 \text{ J}$$

- Se calcula el calor latente de cambio de estado de agua a vapor (evaporación).

$$Q_4 = 0,02 \times 2.260.000 = 45.200 \text{ J}$$

- Finalmente, se suman todos los valores resultantes para obtener la energía que hay que aplicar para que 20 g de hielo cambie a vapor saturado.

$$Q_{\text{total}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 888.089 \text{ J}$$



### Actividad propuesta

**2.2.** Supongamos que tenemos un calorímetro con el que queremos medir el calor específico de una sustancia. Para ello, introducimos en su interior 100 g de la sustancia a una temperatura de 28 °C y, cuando se absorben 2.000 cal, la sustancia alcanza 42 °C. Determina el calor específico medido para esa sustancia.

### Actividad propuesta

**2.3.** Calcula la cantidad de calor que hay que ceder para convertir 20 kg de agua a 22 °C en hielo a -10 °C. Los datos son los siguientes:

- Calor específico del hielo = 2.090 J/(kg K).
- Calor de fusión del hielo = 334.000 J/kg.
- Calor específico del agua = 4.180 J/(kg K).
- Calor de evaporación del agua = 2.260.000 J/kg.

## 2.8.2. Equilibrio térmico

Es el proceso térmico que tiene lugar entre dos sustancias a diferentes temperaturas en el que se transfiriere el calor de la más caliente a la más fría hasta que se igualan las temperaturas.

Para determinar la temperatura de equilibrio entre las dos sustancias, diremos que el calor ganado por una sustancia es igual al calor cedido por la otra. Por eso, se cumple que:

$$M_1 \times Ce_1 \times (T_e - T_1) = -M_2 \times Ce_2 \times (T_e - T_2)$$

Donde  $T_e$  es la temperatura de equilibrio. Esta ecuación expresa el hecho de que el calor ganado por una sustancia es igual al cedido por la otra. El signo menos se debe a que el calor ganado por un cuerpo es positivo y el perdido es negativo.

### Actividad resuelta

**2.6.** Un cuerpo de 700 g de masa tiene un calor específico de 0,10 cal/g °C y una temperatura de 81 °C. Se acerca otro cuerpo de 900 g de masa, con un calor específico de 1 cal/g °C y que está a 35 °C. ¿Cuál será la temperatura de equilibrio?

**Solución:**

Por fase:

$$\text{Como sabemos, } M_1 \times Ce_1 \times (T_e - T_1) = -M_2 \times Ce_2 \times (T_e - T_2)$$

$$\text{Sustituyendo: } 700 \times 0,1 \times (T_e - 81) = -900 \times 1 \times (T_e - 35)$$

Despejando:

$$T_e = 38,32 \text{ °C}$$

#### Enlaces web de interés

<http://www.ite.educacion.es/es/recursos>

Calor, temperatura de equilibrio, calor específico.

<http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esofisicaquimica>

Cambios de estado, temperatura de equilibrio.

<http://www.parrinst.com>

Calorímetros.

- Las sustancias puras pueden encontrarse en distintas fases o estados de agregación: sólido, líquido y gaseoso. Cuando una sustancia cambia de estado, su estructura interna no cambia. Los distintos cambios de estado reciben estos nombres:

	Fusión	Solidificación	Condensación	Evaporación	Sublimación	Sublimación inversa
De	Sólido	Líquido	Gas	Líquido	Sólido	Gas
A	Líquido	Sólido	Líquido	Gas	Gas	Sólido

- Líquido subenfriado es aquel que no está a punto de evaporarse y líquido saturado es aquel que está a punto de evaporarse. De la misma forma, tenemos vapor saturado cuando tenemos vapor a punto de condensarse y vapor sobrecalentado cuando no está a punto de condensarse.
- Temperatura de saturación es aquella a la que una sustancia empieza a hervir manteniendo constante la presión. Presión de saturación es aquella a la que una sustancia empieza a hervir manteniendo constante la temperatura.
- Calor latente (no provoca el aumento de la temperatura) es la cantidad de energía absorbida o cedida durante un proceso de cambio de estado. Calor sensible (no provoca cambio de estado) es la energía que se emplea para un aumento de la temperatura.
- El diagrama presión-entalpía (p-h) o de Mollier se utiliza para los ciclos de refrigeración que emplean las máquinas térmicas. Estará dividido en tres zonas: zona de líquido subenfriado, zona de vapor sobrecalentado y zona de mezcla de líquido-vapor. Sus principales líneas son: línea de líquido saturado, línea de vapor saturado, líneas de temperaturas, líneas de presiones, líneas de entalpías, líneas de volúmenes específicos, líneas de entropía y líneas de calidad de la mezcla.
- Un gas ideal o perfecto es un gas formado por partículas sin atracción ni repulsión entre ellas y cuyos choques son perfectamente elásticos y que cumple las leyes de Boyle-Mariotte, Gay-Lussac y de Charles. Estas tres leyes pueden resumirse en la ecuación de los gases ideales:  $P_1 \times V_1/T_1 = P_2 \times V_2/T_2$ . Esta ecuación también tiene aplicación para mezclas de gases que se comporten como ideales, de forma que la presión de una mezcla de gases es igual a la suma de las presiones parciales de cada uno de los gases si solo uno ocupase todo el volumen de la mezcla y a la misma temperatura.
- Calor específico ( $C_e$ ) de una sustancia es la energía necesaria para aumentar en 1 °C la temperatura de 1 kg de una masa de esa sustancia. Es decir:  $C_e = Q/(M \times \Delta T)$ . El calor específico a presión constante ( $C_{e_p}$ ) es la energía necesaria para aumentar la temperatura de 1 kg de masa de una sustancia en 1 °C cuando la presión se mantiene constante. El calor específico a volumen constante ( $C_{e_v}$ ) es la energía necesaria para aumentar la temperatura de 1 kg de masa de una sustancia en 1 °C cuando en volumen se mantiene constante. El cociente entre los calores específicos a presión constante y a volumen constante para una misma sustancia se denomina *coeficiente adiabático* ( $\gamma$ ).
- Para determinar la temperatura de equilibrio entre las dos sustancias, diremos que el calor ganado por una sustancia es igual al calor cedido por la otra. Por eso, se cumple la siguiente ecuación.

$$M_1 \times C_{e_1} \times (T_e - T_1) = -M_2 \times C_{e_2} \times (T_e - T_2)$$

## Actividades de comprobación

- 2.1.** ¿Es correcto decir que la temperatura es la cantidad de calor que tiene un cuerpo?
- Sí, la temperatura mide el calor medio de un cuerpo.
  - No, la temperatura mide la energía media debida al movimiento de las partículas de un cuerpo.
  - Sí, la temperatura mide el calor total de un cuerpo.
  - No, la temperatura mide la energía total debido al movimiento de las partículas de un cuerpo.
- 2.2.** Si queremos calentar 100 g de agua desde 10 °C hasta 50 °C con una resistencia de 2.000 W, ¿cuánto tiempo se requiere? Los datos necesarios son:  $C_e$  (agua) = 4,18 KJ/kg °C
- 2 s.
  - 0,12 s.
  - 8,36 s.
  - 12,5 s.
- 2.3.** Calcula qué cantidad de energía en julios debe aportarse a 150 g de agua a 25 °C para conseguir que pase completamente a estado vapor. Los datos necesarios son:  $C_e$  (agua) = 4,18 KJ/kg °C; calor de evaporación del agua = 2.260 kJ/kg.
- 459.045 kJ.
  - 339.047 kJ.
  - 339.000 kJ.
  - 470.250 kJ.
- 2.4.** Se desea mezclar 200 g de agua con una temperatura de 10 °C con 80 g de agua a 80 °C en un recipiente con paredes adiabáticas, que no permite el intercambio de calor con el entorno. Calcula la temperatura de equilibrio:
- 45 °C.
  - 30 °C.
  - 40 °C.
  - 37 °C.
- 2.5.** Cuando se coloca un termómetro en 90 g de hielo, se obtiene un resultado de -5 °C. Más tarde, esa masa de hielo se saca a temperatura ambiente de forma que al final se funde por completo. ¿Qué cantidad de energía en julios se ha cedido? Los datos necesarios son:  $C_e$  (hielo) = 2.090 J/kg °C; calor de fusión del hielo = 334 kJ/kg.
- 940,5 J.
  - 30.060 J.
  - 31.000,5 J.
  - 30.060,5 J.
- 2.6.** Mientras un cuerpo está cambiando del estado sólido al líquido, el calor que recibe:
- Se pierde porque la temperatura se mantiene constante.
  - Produce un incremento de temperatura equivalente a la cantidad de calor recibida.
  - Se rompen las uniones moleculares y se mantiene constante la temperatura.
  - Se rompen las uniones moleculares y se incrementa la temperatura.
- 2.7.** En un recipiente, vertemos 250 g de agua a 20 °C y 100 g de otro líquido a la temperatura de 40 °C. La temperatura de equilibrio es de 25 °C. Los datos necesarios son:  $C_e$  (agua) = 4,18 KJ/kg °C. Calcula el calor específico del líquido en cal/g °C.
- 1,2 cal/g °C.
  - 4,18 cal/g °C.
  - 0,83 cal/g °C.
  - 1 cal/g °C.
- 2.8.** Cómo se llama el cambio de estado físico de vapor a líquido:
- Condensación.
  - Evaporación.
  - Fusión.
  - Solidificación.
- 2.9.** El calor aportado o retirado para desencadenar un cambio de estado físico se denomina:
- Calor sensible.
  - Calor específico.
  - Calor de combustión.
  - Calor latente.
- 2.10.** El calor aportado o retirado para producir un cambio de temperatura se denomina:
- Calor sensible.
  - Calor específico.
  - Calor de combustión.
  - Calor latente.
- 2.11.** ¿Cuál de las afirmaciones es correcta?
- Al aumentar la temperatura de un gas, su volumen disminuye.
  - Al aumentar la presión de un gas, su volumen disminuye.
  - Al aumentar la temperatura de un gas, su densidad disminuye.
  - Al aumentar la presión de un gas, su densidad aumenta.

## Actividades de aplicación

- 2.12.** En una fábrica de quesos, hay una cámara frigorífica y la temperatura en su interior debe mantenerse a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  con una presión de  $101.300\text{ Pa}$ . Debido a un corte en el suministro eléctrico, la temperatura sube hasta los  $16\text{ }^{\circ}\text{C}$  manteniéndose la puerta cerrada.
- Calcula la nueva presión de la cámara considerando que el aire del interior es un gas perfecto o ideal.
  - Indica de qué tipo de transformación se trata y represéntalo gráficamente.
- 2.13.** Un bloque de hielo de  $100\text{ g}$  se calienta desde  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Su calor específico es de  $0,8\text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$  y su calor de fusión es de  $80\text{ cal/g}$ .
- Calcula qué calor se necesita para llevarlo a los  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
  - Determina qué calor se necesita para que finalmente alcance una temperatura de  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- 2.14.** En un calorímetro, introducimos  $200\text{ g}$  de un líquido a la temperatura de  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $100\text{ g}$  de agua a  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . La temperatura de equilibrio se produce a los  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Indica cuál será el calor específico del líquido.
  - Establece qué cantidad de calor ha absorbido el líquido.
- 2.15.** Para la puesta en funcionamiento de una instalación frigorífica, se realiza un soplado con nitrógeno. Para ello, se conecta a la instalación, donde reina el vacío absoluto, una botella de  $30\text{ dm}^3$  a presión de  $70\text{ bar}$  y abrimos las válvulas.
- Sabiendo que el volumen total de la instalación es de  $97\text{ dm}^3$ , calcula la presión final considerando que la temperatura no varía durante todo el proceso y da el resultado en pascales.
- 2.16.** Un líquido de masa  $700\text{ g}$ , a una temperatura de  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $0,11\text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$  de calor específico se mezcla con  $90\text{ g}$  de la misma sustancia, pero en estado sólido y a temperatura de fusión de  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Sabiendo que el calor de fusión es de  $90\text{ cal/g}$ , calcula:
- La cantidad de calor máxima que el sólido puede absorber del líquido.
  - La cantidad de sólido que quedará sin fundir.
- 2.17.** A una barra de  $3,5\text{ kg}$  de un determinado material que se encontraba inicialmente a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , se le suministra  $125.000\text{ J}$  de energía en forma de calor aumentando su temperatura hasta  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Averigua el calor específico del material de la citada barra con los datos indicados.
  - Calcula qué aumento de temperatura habría sufrido una barra idéntica y en las mismas condiciones ( $Q = 125.000\text{ J}$ ) si el material hubiese sido cobre en vez de hierro (calor específico =  $0,3986\text{ kJ/kg }^{\circ}\text{C}$ ).
- 2.18.** Mezclamos  $200\text{ g}$  de una sustancia a una temperatura de  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $0,7\text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$  de calor específico con otra sustancia de  $300\text{ g}$  a  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  de temperatura y calor específico de  $0,9\text{ kcal/kg }^{\circ}\text{C}$ . Determina la temperatura final de la mezcla o temperatura de equilibrio.
- 2.19.** Sabiendo que la temperatura de fusión de un refrigerante es de  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y la de evaporación es de  $114\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Representa la gráfica de temperatura-cantidad de calor para un refrigerante desde que entra hasta que sale del:
- Evaporador.
  - Condensador.
- 2.20.** Calcula el calor necesario para aumentar la temperatura de  $500\text{ g}$  de agua de  $20$  a  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Expresa el resultado en calorías.
- 2.21.** Explica las condiciones y la ecuación de estado de los gases ideales.
- 2.22.** Explica el proceso de fusión y de solidificación y representa las gráficas.
- 2.23.** En el interior de un cilindro, se encuentra alojado un gas con las siguientes condiciones: temperatura  $273\text{ K}$  y volumen  $1,3\text{ cm}^3$ . Manteniendo la presión constante, se va calentado el gas de forma, que pasado un tiempo, las condiciones del gas son las siguientes: temperatura =  $465\text{ K}$  y volumen de  $2,21\text{ cm}^3$ .
- Responde a las cuestiones siguientes:
- ¿Qué ley se cumple?
  - Si la temperatura fuera de  $558\text{ K}$ , ¿cuál sería el volumen del gas?
- 2.24.** En un circuito cerrado de aire comprimido, encontramos unas condiciones iniciales de temperatura  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y presión  $0,2\text{ atm}$ . El aire se calienta y, después de un tiempo, se miden las condiciones de nuevo, dando como resultado una temperatura de  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  y una presión de  $0,22\text{ atm}$ .
- Indica si se cumple la ley de Gay Lussac.
  - Si la temperatura fuera de  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ , calcula cuál sería la presión del aire.
- 2.25.** Un volumen de  $10\text{ litros}$  de refrigerante se encuentra a  $3\text{ atm}$  de presión y a  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Para realizar tareas de mantenimiento en una instalación, se desea pasar el refrigerante a una botella de  $20\text{ l}$  de forma que la presión en su interior es de  $4,2\text{ atm}$ . Averigua cuál será la nueva temperatura en el interior de la botella.
- 2.26.** Sobre el diagrama p-h de refrigerante R134a, representa las siguientes líneas:
- Isoterma correspondiente a  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
  - Isobara correspondiente a  $8\text{ bar}$ .
  - Isentropa correspondiente a  $2,05\text{ kJ/kg K}$ .
  - Isocora correspondiente a  $0,04\text{ m}^3/\text{kg}$ .



## ■ Actividades de ampliación

- 2.27.** Para quitar la escarcha de una cámara frigorífica, se utiliza una resistencia eléctrica de 2 kW. Sabiendo que la escarcha se encuentra a  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , que tiene una masa de 3 kg y que el calor latente de fusión del agua para esa masa es de 1.300 kJ.
- Averigua cuánto tiempo empleará la resistencia para quitar la escarcha.
  - Representalo gráficamente indicando qué ocurre en cada tramo y cómo es el proceso.
- 2.28.** Una botella de  $600\text{ cm}^3$  está llena de fluido frigorífico a una presión atmosférica de 1 bar y se comprime de forma adiabática hasta un volumen de  $130\text{ cm}^3$ .
- Calcula la presión después de la compresión en pascales y en atmosferas sabiendo que el calor específico a volumen constante es de  $0,66\text{ kJ/kg }^{\circ}\text{C}$  y el calor específico a presión constante es de  $0,92\text{ kJ/kg }^{\circ}\text{C}$ .
  - Indica en qué circunstancias serán iguales el calor específico a volumen constante y el calor específico a presión constante.
- 2.29.** Para la soldadura de tubos o accesorios de cobre o acero en las instalaciones de gas, refrigeración y climatización, puede utilizarse butano, propano o acetileno y se utiliza oxígeno como comburente (acelera rápidamente la combustión) para aumentar la potencia calorífica de la llama ya que se necesitan temperaturas próximas a los  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

El oxígeno se suministra en estado gaseoso en botellas a alta presión, en torno a los 200/300 bar, de forma que se tiene una gran cantidad de gas en un volumen pequeño (en caso de suministrarse en estado líquido, va contenido en recipientes criogénicos ya que a 1 atm de presión su temperatura es de  $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). A continuación, te mostramos distintos tamaños de las botellas de gas:

	Capacidad (litros)	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Peso (kg)	Presión de llenado (bar a $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
Botella	5	140	471	8,6	200
Botella	10	140	826	13,8	200
Botella	13	140	1.081	16,8	200
Botella	50	229	1.501	63	200
Bloque de botellas	600	Alto x ancho x fondo $1.860 \times 1.250 \times 930$		930	200
Bloque de botellas	1.150	Alto x ancho x fondo $860 \times 1.250 \times 1.035$		1.650	200

El nitrógeno es empleado para el soplado de las instalaciones antes de su puesta en marcha para limpiar y sacar el aire del interior y de los tubos. También suele suministrarse en estado gaseoso a altas presiones. A continuación, te mostramos distintos tamaños de botellas de gas:

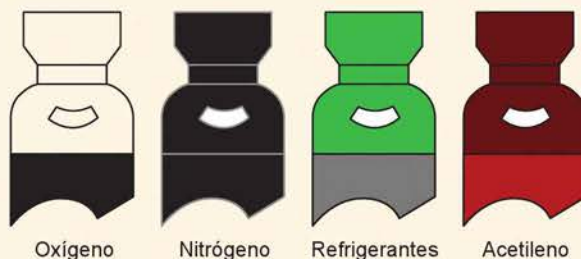
	Capacidad (litros)	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Peso (kg)	Presión de llenado (bar a $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
Botella	10	140	815	16	200
Botella	50	230	1.550	63	200
Bloque de botellas	600	Alto x ancho x fondo $1.620 \times 1.200 \times 880$		930	200
Bloque de botellas	1.150	Alto x ancho x fondo $1.860 \times 1.250 \times 1.035$		1.650	200

Los gases refrigerantes empleados en las instalaciones frigoríficas y de climatización suelen suministrarse en fase líquida en botellas a menor presión que los anteriores. Algunos ejemplos son:

	Capacidad (kg)	Peso (kg)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Presión (bar)
R134a	12	20	229	494	42
R404A	10	18	229	494	42
R407C	11	19	229	494	42
R410A	10	18	229	494	42

El acetileno empleado en la soldadura requiere de un envasado especial por motivos de seguridad debido a su alta inflamabilidad.

	Capacidad (litros)	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Peso (kg)	Presión de llenado (bar a 15 °C)
Botella	5	140	460	10,4	15
Botella	10	140	850	13,8	15
Botella	40	229	1.210	53,5	15
Bloque de botellas	320	Alto x ancho x fondo 1.245 × 1.100 × 590		588	15
Bloque de botellas	480	Alto x ancho x fondo 1.715 × 1.250 × 930		892	15



Para los distintos fluidos, compara las distintas capacidades y presiones de las botellas, viendo en qué estado de agregación (fase sólida, líquida o gaseosa) se encuentran en cada caso. Apunta las conclusiones que puedas sacar.

# Calor, trabajo y leyes de la termodinámica



Cuando dos cuerpos que tienen distintas temperaturas se ponen en contacto, se produce una transferencia de energía en forma de calor hasta que ambos cuerpos consiguen igualarla, es decir, hasta llegar al equilibrio térmico. Distinguir los procesos que permiten esta transferencia de calor, definir los coeficientes de transmisión para cada proceso, así como definir el coeficiente total de transmisión resultante de la simultaneidad de los distintos mecanismos de transferencia térmica, es fundamental para aplicaciones como el aislamiento de las tuberías o de las paredes. La transmisión de energía en forma de calor junto con el concepto de trabajo sientan las bases para comprender el primer principio de la termodinámica y su aplicación a máquinas térmicas.

# 3

## Contenidos

- 3.1. Concepto de calor
- 3.2. Concepto de trabajo
- 3.3. Primer principio de la termodinámica
- 3.4. Aplicación del primer principio de la termodinámica a máquinas térmicas
- Resumen
- Actividades finales

## Objetivos

- Definir el concepto de calor y de trabajo.
- Distinguir los mecanismos de transmisión del calor.
- Calcular la velocidad de transmisión del calor por los tres mecanismos: conducción, convección y radiación.
- Calcular la resistencia térmica de muros y de tuberías.
- Relacionar calor y trabajo mediante la primera ley de la termodinámica en sistemas abiertos y cerrados.
- Saber aplicar el primer principio de la termodinámica a máquinas térmicas.

## 3.1. Concepto de calor

Cuando colocamos un cuerpo en un entorno que tiene distinta temperatura, lo que ocurre es una transferencia o trasvase de energía hasta que se consigue igualar ambas temperaturas, en otras palabras, hasta llegar a un equilibrio térmico. Esa transferencia de energía siempre se produce del foco de mayor al de menor temperatura.

Partiendo de lo anterior, diremos que los cuerpos pueden calentarse (aumentar su energía interna) o enfriarse (perder energía interna). La energía ganada o perdida en estos procesos es el calor.

Por tanto, podemos definir **calor (Q)** como una forma de energía que se transfiere entre un sistema y sus alrededores debido a una diferencia de temperaturas.

$$Q = M \times Ce \times (T_1 - T_2)$$

Donde  $Q$  es la cantidad de calor que absorbe o cede una sustancia (kJ),  $M$  es la masa de la sustancia (kg),  $Ce$  es el calor específico de la sustancia [es la energía necesaria para aumentar en 1K la temperatura de 1 kg de masa de una sustancia (kJ/kg K)],  $T_1$  es la temperatura final de la sustancia (K) y  $T_2$  es la temperatura inicial de la sustancia (K).

Para saber si el calor se transmite del sistema a los alrededores o viceversa, tenemos el siguiente convenio de signos:

- El **calor es positivo** si entra en el sistema desde los alrededores. Por ejemplo, en una cazuela en la que se hierve agua, el calor es positivo puesto que se está aplicando una energía para calentar el agua.
- El **calor es negativo** si el sistema pierde calor hacia los alrededores. Por ejemplo, en los alimentos de un frigorífico, el calor será negativo ya que el frigorífico está extrayendo energía en forma de calor para conservarlos.

### Actividad resuelta

**3.1.** Una sustancia de masa 20 kg y calor específico 0,1 kJ/kg K está a la temperatura de 280 °C. ¿Qué calor tendrá que absorber o emitir para pasar a una temperatura de 310 °C?

**Solución:**

$$Q = M \times Ce \times (T_1 - T_2) = 20 \text{ kg} \times 0,1 \text{ kJ/kg} \times \text{K} \times (583 - 553) \text{ K} = 60 \text{ kJ}$$

Puesto que el calor tiene signo positivo, nos indica que el calor es absorbido.

### RECUERDA

Si calentamos la misma masa de agua y de alcohol en dos recipientes, cuando lleguemos a 78 °C el alcohol empezará a hervir, sin embargo, el agua no hervirá hasta que llegue a 100 °C. Decimos que el alcohol es más fácil de calentar (y de enfriar) que el agua, debido a que tiene menor calor específico.

### 3.1.1. Transmisión de calor por radiación

Todos los cuerpos con temperatura absoluta superior a 0 K emiten radiaciones de calor y su intensidad depende de la temperatura y de la longitud de onda. Cuanto mayor sea la temperatura del cuerpo, mayor será la intensidad de calor, independientemente del entorno.

La **radiación térmica** es la energía emitida por los cuerpos en forma de ondas electromagnéticas a la velocidad de la luz debido a su temperatura. Si esta energía llega a otro cuerpo, puede ser reflejada, transmitida o absorbida por él.

Sin embargo, la radiación térmica no necesita un medio físico de transmisión y puede ocurrir incluso en el vacío.

Pensemos, por ejemplo, un cuerpo en el interior de un recinto cerrado cuyas paredes tienen una temperatura menor que la del cuerpo. En esta situación, la temperatura del cuerpo disminuirá debido a la radiación independientemente del medio de transmisión. La **velocidad de transmisión de calor** por radiación térmica entre el cuerpo y el recinto se expresa así:

$$Q_{\text{radiación}} = \varepsilon \times \sigma \times A_s \times (T_s^4 - T_{\text{pared}}^4)$$

Donde  $Q_{\text{radiación}}$  es la velocidad de transferencia de calor por radiación (W),  $\varepsilon$  es la emisividad del cuerpo que está en el interior de un recinto cerrado (tiene un valor entre 0 y 1 que depende del material y es adimensional),  $\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzmann ( $\sigma = 5,67 \times 10^{-6} \text{ W/m}^2 \times \text{K}^4$ ),



Figura 3.1. Imagen realizada por cámara térmica

$A_s$  es el área del cuerpo ( $m^2$ ),  $T_s$  es la temperatura absoluta de la superficie del cuerpo que está dentro de la superficie (K) y  $T_{pared}$  es la temperatura de las paredes interiores que rodean al cuerpo (K).

**Tabla 3.1.** Emisividad de algunos materiales a 300 K

Material	Emisividad
Aluminio	0,82
Cobre pulido	0,03
Oro pulido	0,03
Plata pulida	0,02
Acero inoxidable pulido	0,17
Pintura negra	0,98
Pintura blanca	0,90
Asfalto	0,85-0,93
Piel humana	0,95
Madera	0,82-0,92
Agua	0,96

### Actividad resuelta

**3.2.** Juan se encuentra en el salón de su casa y tiene el termostato de la calefacción regulado a 21 °C de temperatura. La temperatura de las superficies interiores de las paredes es de 15 °C. Determina la velocidad de transferencia de calor por radiación entre Juan y las superficies del salón si el área de piel de Juan es de 1,5 m<sup>2</sup> y su temperatura superficial es de 35 °C.

#### Solución:

Juan pierde calor por radiación hacia las paredes del salón. Considerando que la temperatura en todas las paredes del recinto (suelo, techo y paredes verticales) es la misma y que el aire no interviene en la transferencia, la velocidad de esta transferencia por radiación es:

$$Q_{\text{radiación}} = \epsilon \times \sigma \times A_s \times (T_s^4 - T_{\text{pared}}^4) = 0,95 \times (5,67 \times 10^{-6} \text{ W/m}^2 \times \text{K}^4) \times 1,5 \text{ m}^2 \times [(35 + 273)^4 - (15 + 273)^4] \text{ K}^4 = 17.124,799 \text{ W}$$

### 3.1.2. Transmisión de calor por conducción

La **transmisión de calor por conducción** de un cuerpo es debida a la transferencia de energía cinética entre sus moléculas o entre sus moléculas y otros cuerpos. La transferencia de calor por conducción no puede realizarse en el vacío.

Si aplicamos calor a una barra de metal, el punto donde está el foco de calor aumenta su temperatura debido a los movimientos moleculares, es decir, aumenta su energía interna. Esos movimientos se transmiten a las moléculas adyacentes que están a una temperatura inferior, por lo que se trasmite el calor de la zona de mayor temperatura a la de menor temperatura.

Para realizar los cálculos de conducción, consideraremos que trabajamos en régimen permanente, lo que quiere decir que no habrá variaciones de temperatura con el tiempo en un punto concreto.



**Figura 3.2.** Transmisión de calor por conducción a través de un metal

### Conducción térmica en una pared plana homogénea

Suponiendo que las dos caras de la pared o del muro formado por un único material tienen siempre una temperatura constante (régimen permanente) y están separadas por una distancia que llamaremos espesor, puede expresarse la **velocidad de transmisión del calor en el caso de una pared plana homogénea** de la siguiente forma:

$$Q_{\text{conducción}} = \lambda \times A \times (T_1 - T_2)/e$$

Donde  $Q_{\text{conducción}}$  es la velocidad de transmisión de calor por conducción (W),  $\lambda$  es la conductividad térmica [es una propiedad física propia del material de la pared y puede definirse como la capacidad que tiene un material para transmitir el calor por conducción. Si tiene un valor elevado, significa que el material es buen conductor, por el contrario, si el valor es bajo, significa que es mal conductor (aislante). Los valores de conductividad térmica para distintos materiales vienen recogidos en la norma UNE EN ISO 10 456:2001 o en otros documentos reconocidos. (W/m × K)],  $A$  es el área de una de las superficies de la pared ( $m^2$ ),  $T_1$  es la temperatura mayor de las dos superficies de la pared (K),  $T_2$  es la temperatura menor de las dos superficies de la pared (K) y  $e$  es el espesor de la pared o la distancia entre las dos superficies de la pared (m).

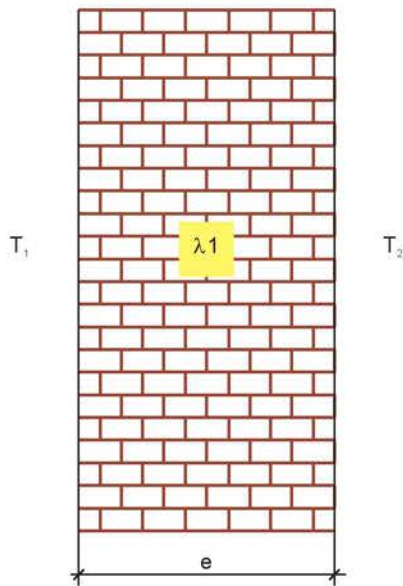


Figura 3.3. Transmisión de calor por conducción a través de una pared simple

Al igual que en electricidad se emplea la resistencia eléctrica, aquí utilizaremos la resistencia térmica, de forma que podremos hacer un símil entre la ley de Ohm y la ecuación de conducción de calor (Tabla 3.2.).

De acuerdo con la tabla anterior, **la resistencia térmica de conducción** en el caso de una pared homogénea es:

$$R_{\text{térmica}} = e / (\lambda \times A) \text{ (K/W)}$$

Por otro lado, definimos **la resistencia térmica interna o específica** de una pared homogénea como la resistencia térmica de una pared de 1 m<sup>2</sup> de superficie, es decir:

$$R_{\text{térmica interna}} = e / \lambda \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Por último, **la conductancia térmica** se define como la inversa de la resistencia térmica interna:

$$C = 1/R_{\text{térmica}} = \lambda/e \text{ (W/m}^2 \times \text{K)}$$

Tabla 3.2. Comparativa entre magnitudes eléctricas y térmicas

	Eléctrica	Térmica
Ecuación	$I = V/R_{\text{eléctrica}}$	$Q_{\text{conducción}} = \lambda \times A \times (T_1 - T_2)/e$ o $Q_{\text{conducción}} = (T_1 - T_2)/[e/(\lambda \times A)]$
Resistencia	$R_{\text{eléctrica}}$	$R_{\text{térmica}} = e/(\lambda \times A)$
Intensidad	$I$	$Q_{\text{conducción}}$
Diferencial	$V_1 - V_2$	$T_1 - T_2$

Tabla 3.3. Conductividad térmica de algunos materiales constructivos

Material	$\lambda$ (W/m × K)
Acero	50
Aglomerado entre 500 y 600 kg/m <sup>3</sup>	0,17
Aluminio	230
Asfalto	0,70
Cobre	380
Betún	0,17
Hormigón armado > 2.500 kg/m <sup>3</sup>	2,50
Hormigón con arcilla expandida 600 kg/m <sup>3</sup>	0,19
Bloque de hormigón convencional 520-1.230 kg/m <sup>3</sup>	1,18
Yeso, dureza media entre 600 y 900 kg/m <sup>3</sup>	0,30
Enlucido de yeso entre 1.000 y 1.300 kg/m <sup>3</sup>	0,57
Ladrillo hueco LH	0,32

### Actividad resuelta

**3.3.** El suelo de una vivienda tiene unas dimensiones de 6 m de largo, 9 m de ancho y 0,25 m de espesor y está construido con un material cuya conductividad térmica es  $0,7 \text{ W/m} \times ^\circ\text{C}$ . Las temperaturas de las superficies interior y exterior del suelo son de  $16 ^\circ\text{C}$  y  $4 ^\circ\text{C}$ , respectivamente. Responde a las cuestiones siguientes:

- Determina la velocidad de la pérdida de calor a través del suelo durante un día.
- Estima cuál sería el coste de esa pérdida de calor para el propietario de la vivienda durante un día, suponiendo que la calefacción sea eléctrica, si el coste de la electricidad es de  $0,14 \text{ €/kWh}$ .
- Halla la resistencia térmica, la resistencia térmica interna y la conductividad térmica del suelo.

#### Solución:

- La velocidad de transmisión del calor a través del suelo es:

$$Q_{\text{conducción}} = \lambda \times A \times (T_1 - T_2)/e$$

$$(0,7 \text{ W/m} \times ^\circ\text{C}) \times (6 \times 9) \text{ m}^2 \times (16 - 4) ^\circ\text{C}/0,25 \text{ m} = 1.814,4 \text{ W}$$

Se nos pide calcular la pérdida en un día, para ello, sabiendo que  $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$  y que  $1 \text{ día} = 24 \text{ h} = 86.400 \text{ s}$ , podemos concluir que:

$$\text{Pérdida de calor en un día} = 1.814,4 \text{ W} = 1.814,4 \text{ J/s}$$

$$1.814,4 \text{ J/s} \times 86.400 \text{ s/1 día} = 156.764.160 \text{ J/día} = 156,76416 \text{ MJ/día}$$

- La pérdida de calor en 1 día (24 h) es:  $1.814,4 \text{ W} \times 24 \text{ h} = 43,545 \text{ kWh}$

Y, sabiendo que el coste de la electricidad es de  $0,14 \text{ €/kWh}$ , el coste de calor en 1 día es:

$$43,545 \text{ kWh} \times (0,14 \text{ €/kWh}) = 6,096 \text{ €}$$

- La resistencia térmica es:

$$R_{\text{térmica}} = e/(\lambda \times A)$$

$$0,25 \text{ m}/[(0,7 \text{ W/m} \times ^\circ\text{C}) \times (6 \times 9) \text{ m}^2] = 6,613 \times 10^{-6} ^\circ\text{C/W}$$

La resistencia térmica interna es:

$$R_{\text{térmica interna}} = e/\lambda = 0,25 \text{ m}/0,7 \text{ W/m} \times ^\circ\text{C} = 0,175 \text{ m}^2 \times ^\circ\text{C/W}$$

Y la conductividad térmica del suelo es:

$$C = \lambda/e = 0,7 \text{ W/m} \times ^\circ\text{C}/0,25 \text{ m} = 2,8 \text{ W/m}^2 \times ^\circ\text{C}$$

### Actividad propuesta

**3.1.** Las superficies interior y exterior de un muro de ladrillos tienen unas temperaturas de  $20$  y de  $5 ^\circ\text{C}$ , respectivamente. Las dimensiones del muro son  $5 \text{ m}$  de alto,  $8 \text{ m}$  de ancho y  $25 \text{ cm}$  de espesor. Sabiendo que la conductividad térmica es de  $0,69 \text{ W}/(\text{m} \times ^\circ\text{C})$ , calcula:

- La velocidad de transferencia de calor a través del muro en vatios.
- La resistencia térmica, la resistencia térmica interna y la conductividad térmica.

propio espesor. Por consiguiente, en el caso de una pared con tres materiales, las resistencias térmicas de cada uno de ellos son:

- $R_{\text{térmica1}} = e_1/(\lambda_1 \times A)$ .
- $R_{\text{térmica2}} = e_2/(\lambda_2 \times A)$ .
- $R_{\text{térmica3}} = e_3/(\lambda_3 \times A)$ .

De acuerdo con lo anterior, **la resistencia térmica total** se expresa como la suma de las resistencias térmicas de cada uno de los materiales:

$$R_{\text{Total}} = R_{\text{térmica1}} + R_{\text{térmica2}} + R_{\text{térmica3}} \text{ (K/W)}$$

De la misma forma, **la resistencia interna total** es la suma de las resistencias térmicas internas de cada material.

Por último, **la velocidad de transmisión de calor por conducción** en el caso de una pared compuesta de tres materiales puede expresarse como:

$$Q_{\text{conducción}} = (T_1 - T_4)/R_{\text{total}} \text{ (W)}$$

## Conducción térmica en una pared plana heterogénea

Para calcular la conducción térmica en una pared con varios materiales diferentes, se tendrá en consideración que cada material tiene su propia conductividad térmica y su

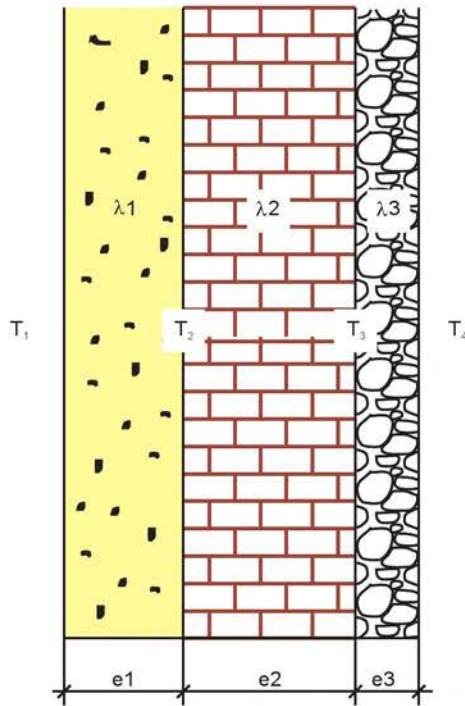


Figura 3.4. Transmisión de calor por conducción a través de una pared compuesta por tres materiales

### RECUERDA

Siempre que existe una diferencia de temperaturas, se produce un flujo de calor.

La transferencia se produce del foco más caliente al menos caliente.

### Actividad propuesta

3.2. Las superficies interior y exterior de la pared de un refrigerador de 2 m de alto y 3 m de ancho tienen unas temperaturas de 30 y de 90 °F, respectivamente. Sabiendo que la pared está formada de exterior a interior por un panel de corcho (0,035 W/m × K) de 2 cm de espesor, una hoja de material aislante (0,009 W/m × K) de 1 cm de espesor y un recubrimiento de aluminio (0,15 W/m × K) de 0,3 cm sobre la superficie interna. Calcula:

- La velocidad de transferencia de calor a través de la pared en vatios.
- La resistencia térmica, la resistencia térmica interna y la conductividad térmica.

### Actividad resuelta

3.4. Mario es un albañil que va a colocar una ventana de dimensiones 1 m × 0,7 m en la cocina de una vivienda. La ventana está formada por dos capas de vidrio de 3 mm de espesor con una conductividad térmica de 0,78 W/(m × °C), separadas por un espacio de aire que actúa de aislante de 0,2 mm de ancho y cuya conductividad térmica es de 0,026 W/(m × °C). Calcula la velocidad de transferencia de calor a través de la ventana si la temperatura interior es de 20 °C y la exterior es de 4 °C.

#### Solución:

Puesto que la ventana tiene dos capas de vidrio y una capa de aire que actúa de aislante, estaremos ante un caso de pared compuesta por tres capas, por lo tanto, la resistencia total de la ventana es:

$$R_{\text{Total}} = R_{\text{térmicavidrio}} + R_{\text{térmicaaire}} + R_{\text{térmicavidrio}}$$

$$[e_1/(\lambda_1 \times A)] + [e_2/(\lambda_2 \times A)] + [e_3/(\lambda_3 \times A)] = [0,003 \text{ m}/0,78 \text{ W}/(\text{m} \times \text{°C}) \times (1 \times 0,7) \text{ m}^2] + [0,0002 \text{ m}/0,026 \text{ W}/(\text{m} \times \text{°C}) \times (1 \times 0,7) \text{ m}^2] + [0,003 \text{ m}/0,78 \text{ W}/(\text{m} \times \text{°C}) \times (1 \times 0,7) \text{ m}^2] = 5,495 \times 10^{-3} + 0,0109 + 5,495 \times 10^{-3} = 0,0218 \text{ °C/W}$$

La velocidad de transmisión de calor por conducción de la ventana es:

$$Q_{\text{conducción}} = (T_1 - T_4)/R_{\text{total}} = (20 - 4) \text{ °C}/0,0218 \text{ °C/W} = 730,927 \text{ W}$$



Figura 3.5. Las ventanas con un espacio de aire que actúa como aislante son un ejemplo de transmisión de calor a través de una pared compuesta

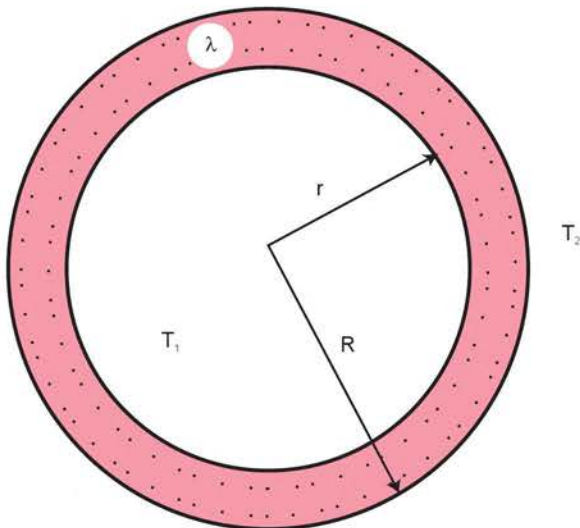


### Conducción térmica en una pared tubular homogénea

La conducción de calor a través de una pared tubular tiene uno de sus ejemplos más claros en los tubos de la calefacción a través de los que circula agua caliente por su interior. En este caso, diremos que, si la superficie exterior de un tubo de calefacción está a menor temperatura que la interior, el calor fluirá desde el interior hacia el exterior del tubo.

La **velocidad de transmisión de calor por conducción en el caso de una pared tubular** con una longitud de tubería  $L$  se expresa de la siguiente manera:

$$Q_{\text{conducción}} = 2 \times \Pi \times L \times \lambda \times (T_1 - T_2) / \ln (R/r) \text{ (W)}$$



**Figura 3.6.** Transmisión de calor por conducción a través de una tubería simple

Del mismo modo que para una pared plana, podemos obtener **la resistencia térmica** para una pared tubular:

$$R_{\text{térmica}} = \ln (R/r) / (2 \times \Pi \times L \times \lambda) \text{ (K/W)}$$

### Actividad propuesta

**3.3.** Una varilla larga cilíndrica con un diámetro interior de 3,5 cm y exterior de 4 cm transporta un gas a una temperatura de 150 °C durante una distancia de 50 m. La varilla (100 W/m × K) discurre por una nave a una temperatura de 18 °C.

Determina:

- La velocidad de transferencia de calor a través de la pared en vatios.
- La resistencia térmica.

### Actividad resuelta

**3.5.** Un tubo de acero con un diámetro interior de 24 cm y exterior de 30 cm transporta vapor sobrecalentado a una temperatura de 110 °C durante una distancia de 20 m. El tubo está ubicado en un entorno cuya temperatura es de 22 °C. Determina la rapidez con la que se transmite el calor a través de las paredes del tubo.

**Solución:**

La velocidad de transmisión de calor por conducción en el caso de una pared tubular se expresa de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} Q_{\text{conducción}} &= 2 \times \Pi \times L \times \lambda \times (T_1 - T_2) / \ln (R/r) = \\ &= 2 \times \Pi \times 20 \text{ m} \times (50 \text{ W/m} \times \text{K}) \times \\ &\quad \times (110 - 22) \text{ K} / \ln (0,15/0,12) = \\ &= 552.920,307 / \ln (0,15/0,12) = 2.477.868,187 \text{ W} \end{aligned}$$



**Figura 3.7.** Las tuberías son un ejemplo de transmisión de calor por conducción en pared tubular homogénea

### Conducción térmica en una pared tubular heterogénea

Supongamos una pared tubular compuesta que está formada por varios materiales, por ejemplo, un tubo con una capa de aislamiento.

Cabe observar que la resistencia térmica total de la tubería será la suma de la resistencia térmica del tubo y la del aislamiento.

$$R_{\text{térmica 1}} = \ln (r_2/r_1) / 2 \times \Pi \times L \times \lambda_{\text{tubo}}$$

$$R_{\text{térmica 2}} = \ln (r_3/r_2) / 2 \times \Pi \times L \times \lambda_{\text{aislamiento}}$$

De tal forma que la **resistencia térmica total** se expresa como la suma de las resistencias de cada uno de los materiales que forman el tubo:

$$R_{\text{total}} = R_1 + R_2$$

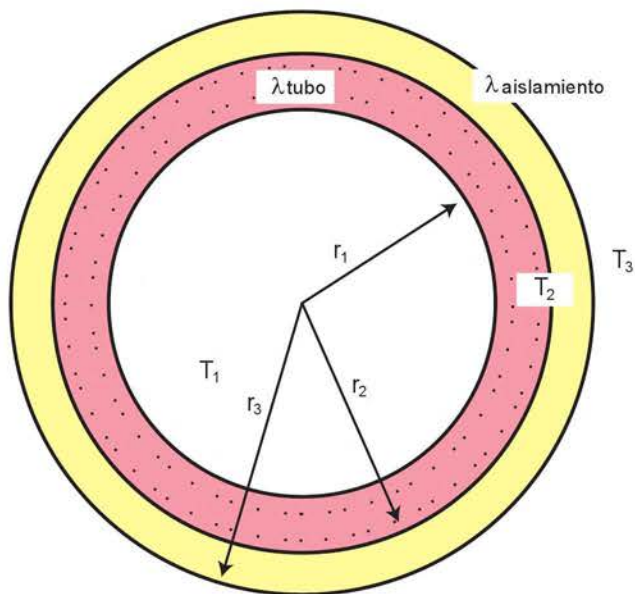


Figura 3.8. Transmisión de calor por conducción a través de una tubería compuesta por dos materiales

Podemos concluir que la **velocidad de transmisión de calor por conducción en el caso de un tubo con aislamiento** se expresa de la siguiente manera:

$$Q_{\text{conducción}} = (T_1 - T_3)/R_{\text{total}} \text{ (W)}$$

### 3.1.3. Transmisión de calor por convección

En la **convección térmica**, la transferencia de calor se produce entre una superficie sólida y un fluido que está en movimiento. El fluido, al calentarse, aumenta de volumen y su densidad disminuye, por lo que asciende y desplaza al que se encuentra en la parte superior y que se encuentra a menor temperatura. Cuanto más rápido se desplace el fluido, mayor será la transferencia de calor.

Existen dos tipos de convección térmica:

1. **Convección natural.** Debido a diferencias de temperaturas en el fluido, se producen variaciones de la densidad del fluido y se produce su movimiento. Un ejemplo es la calefacción con radiadores, el aire caliente sube hacia arriba, ya que es menos denso que el aire frío, y desplaza hacia abajo al aire frío que estaba arriba.

2. **Convección forzada.** El movimiento del fluido se favorece mediante medios externos, como puede ser un ventilador, una bomba o el viento, y consigue de esta manera una transmisión del calor más rápida. Un ejemplo es el aire acondicionado de una habitación.

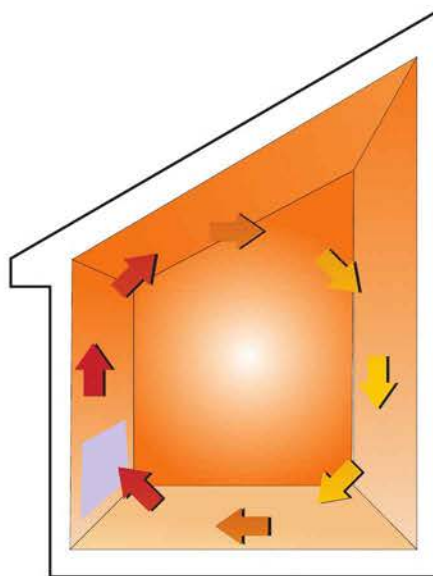


Figura 3.9. Transmisión de calor por convección en una habitación con calefacción

La **velocidad de transferencia de calor por convección** se expresa con la ley del enfriamiento de Newton:

$$Q_{\text{convección}} = h \times A \times (T_{\text{superficie}} - T_{\text{fluido}})$$

Donde  $h$  es el coeficiente superficial de transmisión de calor [se determina de forma experimental, no es una propiedad de fluido y depende de múltiples parámetros relacionados con el flujo del fluido como son el tipo de convección (forzada o natural), el régimen del fluido (laminar o turbulento), la velocidad del flujo o la densidad del fluido.  $(W/(m^2 \times K))$ ,  $A$  es el área de la superficie a través de la cual se produce la transferencia de calor por convección ( $m^2$ ),  $T_{\text{superficie}}$  es la temperatura de la superficie (K) y  $T_{\text{fluido}}$  es la temperatura del fluido lejos de la superficie (K).

Al igual que en la transferencia de calor por conducción teníamos resistencia térmica y resistencia térmica interna, en la convección, también existen la resistencia de convección y la resistencia térmica superficial.

De acuerdo con:

$$\begin{aligned} Q_{\text{convección}} &= h \times A \times (T_{\text{superficie}} - T_{\text{fluido}}) = \\ &= (T_{\text{superficie}} - T_{\text{fluido}})/(1/h \times A) \end{aligned}$$

Tendremos que la **resistencia térmica de convección** es:

$$R_{\text{convección}} = 1/h \times A \text{ (K/W)}$$

Por último, definimos la **resistencia térmica superficial** como la resistencia térmica a la convección de una superficie de 1 m<sup>2</sup>, es decir:

$$R_{\text{convección}} = 1/h \text{ (m}^2 \times \text{K/W)}$$

### SABÍAS QUE...

En el Código Técnico de la Edificación (CTE), aparecen los cálculos para cerramientos en contacto con el aire exterior, tales como muros de fachada, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior.

## ■ ■ ■ Coeficiente total de transmisión de calor (U)

Hasta ahora, hemos visto las formas de transmisión de calor por separado, pero, normalmente, la transmisión de calor no se produce mediante una única forma de transferencia. Por ejemplo, en las superficies de muros, paredes o chapas que están en contacto con fluidos diferentes a temperaturas distintas, la transferencia se lleva a cabo por conducción y por convección.

Cuando existen varias formas de transmisión de calor simultáneamente, la pregunta que nos haríamos es **¿cómo cal-**

**culamos la velocidad de transmisión de calor? y ¿cómo calculamos la resistencia térmica total del muro?**

Para explicarlo, proponemos un ejemplo. Observemos una pared de una casa en la que su cara interna está en contacto con un fluido caliente, que puede ser el aire calentado por un radiador, y la cara externa está en contacto con el aire de la calle, que es más frío.




La transmisión de calor a través de las superficies de las caras interior y exterior se produce por convección. Sin embargo, también hay una transmisión de calor a través de la pared que se produce por conducción. Así pues, la **resistencia térmica total** del cerramiento compuesto por un material se expresa de la forma siguiente:

$$\begin{aligned} R_{\text{total}} &= R_{\text{superficial int}} + R_{\text{pared}} + R_{\text{superficial ext}} = \\ &= (1/h_i \times A) + (e/\lambda \times A) + (1/h_e \times A) \end{aligned}$$




(K/W)

Los valores de las resistencias superficiales interiores ( $1/h_i$ ) y exteriores ( $1/h_e$ ) vienen recogidos en el Documento Básico de Ahorro Energético del Código Técnico de la Edificación (CTE-HE1):

**Tabla 3.4.** Resistencias térmicas superficiales de particiones interiores en m<sup>2</sup> × K/W

Posición de la partición interior y sentido del flujo de calor		$R_{se} = 1/h_e$	$R_{si} = 1/h_i$
	Particiones interiores verticales o con pendiente sobre la horizontal > de 60° y flujo horizontal.	0,13	0,13
	Particiones interiores horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≥ de 60° y flujo ascendente.	0,10	0,10
	Particiones interiores horizontales y flujo descendente.	0,17	0,17

**Tabla 3.5.** Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en m<sup>2</sup> × K/W

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		$R_{se} = 1/h_e$	$R_{si} = 1/h_i$
	Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal > de 60° y flujo horizontal.	0,04	0,13
	Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≥ de 60° y flujo ascendente.	0,04	0,10
	Cerramientos horizontales y flujo descendente.	0,04	0,17

También definimos la **resistencia térmica total interna** de 1 m<sup>2</sup> de superficie de pared como:

$$R_{\text{total interna}} = 1/h_i + e/\lambda + 1/h_e \quad [(\text{m}^2 \times \text{K})/\text{W}]$$

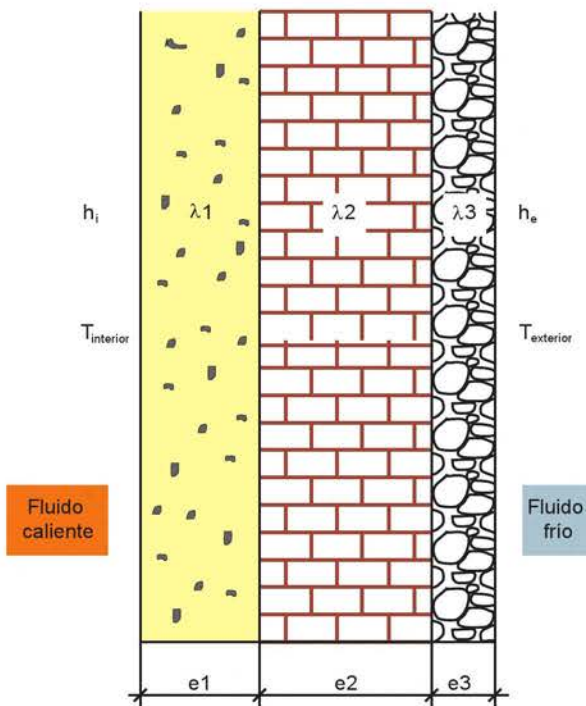
La inversa de la resistencia térmica total de metro cuadrado de superficie de pared es el **coeficiente total de transmisión de calor o transmitancia térmica (U)**, que se expresa como:

$$U = 1/R_{\text{total interna}} = 1/(1/h_i + e/\lambda + 1/h_e) \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \times \text{K})]$$

En el caso de que la pared esté formada por más de un material, tendremos que añadir los cálculos de transmisión del calor por conducción de cada uno de los materiales.

Por ejemplo, para el caso de tener tres materiales distintos, el coeficiente total de transmisión se expresa así:

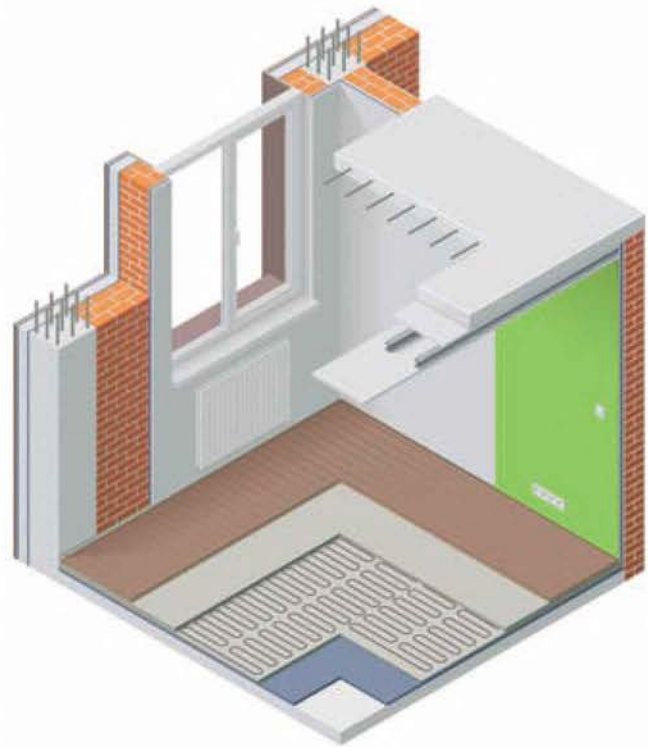
$$U = 1/R_{\text{total interna}} = 1/(1/h_i + e_1/\lambda_1 + e_2/\lambda_2 + e_3/\lambda_3 + 1/h_e)$$



**Figura 3.10.** Transmisión de calor por conducción y convección a través de una pared compuesta

La **velocidad de transmisión de calor total** a través del muro se expresa de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} Q_{\text{total}} &= Q_{\text{convección I}} + Q_{\text{conducción}} + Q_{\text{convección}} = \\ &= A \times U \times (T_{\text{interior}} - T_{\text{exterior}}) \end{aligned}$$



**Figura 3.11.** Las construcciones formadas por varias capas de distintos materiales son un ejemplo de transmisión de calor por conducción y por convección

### Actividad resuelta

**3.6.** Una pared de ladrillo de 1 m de alto, 0,75 m de ancho y 0,5 m de espesor expone su pared exterior al viento frío a una temperatura de 265 K y, en el lado interior de la pared, la temperatura es de 335 K. Calcula la velocidad de transferencia de calor total.

**Solución:**

En la Tabla 3.5., podemos obtener los valores de  $1/h_e = 0,04 \text{ m}^2 \times \text{K}/\text{W}$  y de  $1/h_i = 0,13 \text{ m}^2 \times \text{K}/\text{W}$ . Por lo tanto, la resistencia térmica interna total del muro es:

$$\begin{aligned} R_{\text{total interna}} &= 1/h_e + e/\lambda + 1/h_i = 0,04 + (0,5/0,32) + 0,13 = \\ &= 1,733 \text{ m}^2 \times \text{K}/\text{W} \end{aligned}$$

El coeficiente total de transmisión de calor U es:

$$U = 1/R_{\text{total interna}} = 1/1,733 = 0,577 \text{ W}/\text{m}^2 \times \text{K}$$

La velocidad de transmisión de calor total a través del muro:

$$\begin{aligned} Q_{\text{total}} &= A \times U \times (T_{\text{interior}} - T_{\text{exterior}}) \\ &= 0,75 \text{ m}^2 \times 0,577 \text{ W}/\text{m}^2 \times \text{K} (335 - 265) \text{ K} = 29,243 \text{ W} \end{aligned}$$

### Actividad propuesta

**3.4.** Un muro de cemento de 0,5 m de espesor tiene una temperatura superficial exterior de 10 °C y 18 °C de interior, la conductividad térmica del cemento es de 1,2 W/m × K y las dimensiones del muro son 5 m de largo y 2 m de alto. Calcula:

- La resistencia térmica total interna.
- El coeficiente total de transmisión de calor.
- La velocidad de transferencia de calor total a través de la pared en vatios.

## 3.2. Concepto de trabajo

Como dijimos, en un sistema cerrado, la energía puede cruzar la frontera de dos formas distintas: en forma de calor y de trabajo. Una vez que ya sabemos lo que es el calor, cabe preguntarse **¿qué es el trabajo?**

Diremos que el trabajo (W) es una forma de energía que se transfiere entre cuerpos (un sistema y sus alrededores) y que no es debida a una diferencia de temperaturas.

Para realizar un trabajo, es preciso ejercer una fuerza (F) sobre un cuerpo y que este se desplace una distancia (d).

$$W = F \times d \text{ (J)}$$

Otra forma de definir el trabajo es el producto de la potencia (P) y el tiempo(t):

$$W = P \times t$$

De la misma forma que para el calor, para saber si el trabajo se transmite del sistema a los alrededores o viceversa, tenemos un convenio de signos que es el siguiente:

- El **trabajo es positivo** si entra en el sistema desde los alrededores. Por ejemplo, en un compresor, el trabajo es positivo porque se está aplicando una energía para que comprima o expanda un gas en un dispositivo cilindro-pistón.
- El **trabajo es negativo** si el sistema realiza el trabajo y, por tanto, sale de él hacia los alrededores. Por ejemplo, en un motor de un coche, el trabajo será negativo porque es el motor el que realiza el trabajo y este se emplea para mover el coche.

En las máquinas frigoríficas, el compresor realiza el trabajo mecánico. El gas refrigerante que entra en el compresor a baja temperatura y baja presión después de la compresión (realización del trabajo) sale a alta temperatura y a alta presión.

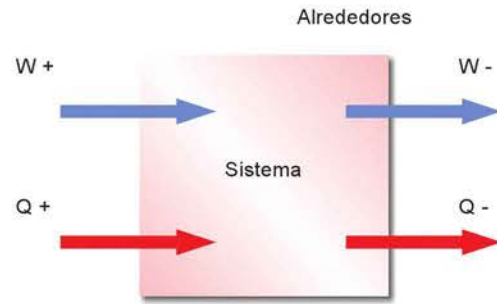


Figura 3.12. Convenio de signos para calor y trabajo

### RECUERDA

Cuando se transfiere energía entre dos cuerpos, puede hacerse de forma mecánica (mediante la realización de un trabajo) o de forma térmica (mediante el calor).

### Actividad resuelta

**3.7.** María sube en un ascensor, que asciende 30 m hasta llegar a su destino. Calcula el trabajo necesario si el motor produce una fuerza de 800 N. ¿Cuál es la potencia del motor sabiendo que tarda 20 s en hacer el recorrido?

**Solución:**

$$W = F \times d = 800 \text{ N} \times 30 \text{ m} = 2.400 \text{ J}$$

$$P = W/t = 2.400 \text{ J}/20 \text{ s} = 120 \text{ W}$$

## 3.3. Primer principio de la termodinámica

Cuando el vapor de agua sale de una cazuela que se encuentra tapada, su energía es capaz de levantar la tapadera. Parte del calor que aportamos al agua se está convirtiendo en trabajo mecánico. También sabemos que, frotando dos cuerpos, una forma de trabajo mecánico, se produce calor.

Así pues, **¿cuál es la relación entre el trabajo mecánico y el calor?** Vamos a explicarlo a partir del primer principio de la termodinámica. Hasta ahora, hemos visto que la primera ley de la termodinámica, basándose en observaciones experimentales, dice que la energía ni se crea ni se destruye, tan solo se transforma.



Figura 3.13. Cuando el vapor levanta la tapa de la cazuela, se produce la transformación de calor en trabajo

### 3.3.1. Primer principio de la termodinámica para un sistema cerrado

El primer principio de la termodinámica **para un sistema cerrado** puede enunciarse así:

$$Q + W = \Delta E$$

$Q$  es el calor que el sistema gana o pierde.

$W$  es el trabajo producido.

$\Delta E$  es la variación de la energía total del sistema ( $\Delta E = E_{\text{final}} - E_{\text{inicial}}$ ).

La energía total de un sistema consta de: energía interna ( $\Delta U$ ), energía cinética ( $E_c$ ) y energía potencial ( $E_p$ ).

$$\Delta E = \Delta U + \Delta E_c + \Delta E_p$$

Para variar la energía de un sistema cerrado, es necesario que el sistema ceda o absorba calor. Sin embargo, también se consigue si el sistema realiza o recibe un trabajo.

#### RECUERDA

Un sistema cerrado es aquel en el que no entra ni sale masa, solo energía.

#### SABÍAS QUE...

Mayer y Joule fueron los primeros en comprobar la transformación de trabajo mecánico en calor, y viceversa, y obtuvieron el valor de la caloría. En 1846, Mayer presentó el estudio en el que enuncia el principio de conservación de la energía.

### 3.3.2. Primer principio de la termodinámica para un sistema abierto

Recordando la definición de sistema abierto, observamos que, además de la energía, debemos tener en cuenta la masa.

- Cuando entra masa en el sistema, la energía total del sistema se incrementa ya que la masa transporta energía.
- Cuando sale masa del sistema, la energía total del sistema disminuye porque la masa transporta energía.

El primer principio de la termodinámica **para un sistema abierto** puede enunciarse así:

$$Q + W + M_{\text{ent}} - M_{\text{sal}} = \Delta E$$

En los sistemas abiertos, tendremos en cuenta las variaciones de masa que se producen a través de sus fronteras. Por ejemplo, para que un fluido (la masa) pueda entrar o salir de una tubería (sistema) es necesario que se produzca un trabajo.

Puesto que  $W = F \times d$ , diremos que, para desplazar el fluido cuyo volumen es  $V$  por la tubería, es necesaria una fuerza  $F$  que lo desplace una distancia  $d$  para que pueda atravesar su orificio de salida.

Sabiendo que  $F = p \times S$ , podemos decir que **el trabajo necesario para desplazar el fluido** es:

$$W = p \times S \times d = p \times V$$

Tendremos en cuenta este trabajo para definir la energía total de un sistema ( $E$ ), de forma que:

$$E = U + E_c + E_p + W_{\text{flujo}} = U + E_c + E_p + p \times V$$

#### RECUERDA

La presión es la fuerza que se aplica por unidad de superficie:  
 $p = F/S$ .

Esto nos lleva a definir la **entalpía (H)** como la variación de la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, es decir, la cantidad de energía que un sistema puede intercambiar con su entorno. Otra forma de definirla es: la energía interna de un fluido que se desplaza.

$$H = U + p \times V$$

Teniendo en cuenta la definición de entalpía, la energía total del sistema puede expresarse así:

$$E = H + E_c + E_p$$

### 3.4. Aplicación del primer principio de la termodinámica a máquinas térmicas

A la máquina térmica como sistema termodinámico abierto, le aplican las propiedades del primer principio de la termodinámica que vimos en el apartado anterior. A continuación, vamos a particularizar este principio y a analizarlo más en detalle.

#### 3.4.1. Flujo permanente y transitorio de un fluido

En el caso de las máquinas térmicas, diremos que el fluido que utilizan trabaja en régimen permanente. Pero **¿qué es régimen permanente?** Para explicarlo, veremos que existen dos tipos de flujos:

- **Flujo permanente** es aquel en el que las propiedades del fluido no pueden cambiar con el tiempo, aunque sí en el espacio. Por ejemplo, en un canal, las características del flujo son: velocidad, caudal y profundidad. Estas son independientes del tiempo, aunque pueden variar a lo largo del canal.

En un proceso en el que el flujo es permanente, no se producen incrementos ni pérdidas de masa en el sistema ya que las características del flujo no varían con el tiempo. Lo que sí puede ocurrir son salidas y entradas de masa, pero, en el balance final, la masa es la misma.

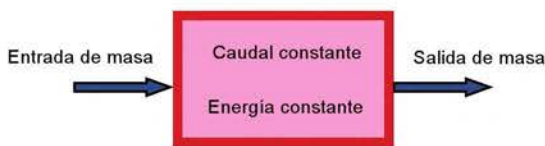


Figura 3.14. Flujo permanente

- **Flujo transitorio** es aquel en el que las propiedades del fluido pueden cambiar con el tiempo.

Si, en el ejemplo anterior, lo que hacemos es aumentar el caudal del canal durante un tiempo, estaríamos variando la velocidad del flujo.

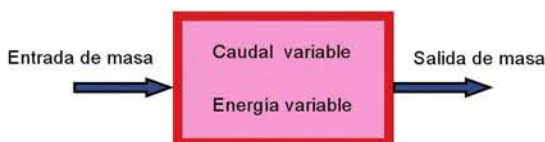


Figura 3.15. Flujo transitorio

#### SABÍAS QUE...

Una máquina frigorífica por compresión de vapor tiene como objetivo transferir energía en forma de calor entre dos puntos. La más sencilla de ellas es la refrigeración por compresión mecánica de una etapa.



#### 3.4.2. Expresión de la primera ley de la termodinámica para máquinas térmicas en régimen permanente

En una máquina térmica, como hemos visto, se cumple el primer principio de la termodinámica para sistemas abiertos y con flujo permanente.

Para explicarlo, partimos de la primera ley de la termodinámica:

$$Q + W + M_{ent} - M_{sal} = \Delta E$$

Recordando el concepto de entalpía, sabíamos que el primer principio de la termodinámica podía expresarse como:  $\Delta E = \Delta H + \Delta E_c + \Delta E_p$ .

$$\text{Con lo cual: } Q + W = (\Delta H + \Delta E_c + \Delta E_p) (M_{sal} - M_{ent}).$$

En las máquinas térmicas, ya que se trabaja con flujo permanente, las características del flujo no cambian con el tiempo, por lo tanto, la variación de energía potencial y de la energía cinética específica puede considerarse despreciable frente a la entalpía, resultando:

$$Q + W = \Delta H (M_{sal} - M_{ent}) = M_{sal} \times h_{sal} - M_{ent} \times h_{ent}$$

Finalmente, como se trata de flujo permanente, la masa de fluido que entra y la que sale debe ser la misma, por tanto:

$$Q + W = M (h_{sal} - h_{ent})$$

## ■ RECUERDA

Los elementos básicos de una máquina frigorífica de compresión de vapor son:

- El evaporador.



- El condensador.



- El compresor.



- El expansor.



Imágenes: cortesía de Danfoss

## Actividad resuelta

- 3.8.** Un fluido caliente que circula por una tubería va a ceder calor al ambiente, de forma que, al inicio de la tubería, la energía interna del fluido es de 700 kJ y durante el proceso pierde 400 kJ de calor. Además, para impulsar el fluido, se realiza un trabajo sobre él de 75 kJ. Calcula la energía interna total del fluido considerando las propiedades del fluido constantes en el tiempo y que no existen variaciones de masa.

### Solución:

Consideramos que el flujo es permanente puesto que las propiedades del fluido son constantes en el tiempo y el sistema es cerrado porque no existen variaciones de masa. Por lo tanto, según el primer principio de la termodinámica, tenemos que:

$$Q + W = \Delta E$$

$$-400 \text{ kJ} + 75 \text{ kJ} = E_{\text{final}} - 700 \text{ kJ}$$

$$E_{\text{final}} = 700 \text{ kJ} - 400 \text{ kJ} + 75 \text{ kJ} = 250 \text{ kJ}$$

Por tanto, a la salida de la tubería, la energía del fluido es de 250 kJ.

## ■ ■ 3.4.3. Aplicación de la primera ley de la termodinámica a los elementos de un sistema frigorífico

Cuando buscamos disminuir la temperatura de un local, utilizamos máquinas frigoríficas. En una máquina frigorífica, hay un fluido llamado *refrigerante* (el sistema). Este será sobre el que se realicen las transferencias de energía.

Los elementos de una máquina frigorífica en los que se produce transferencia de energía por calor o por trabajo son:

- En el **evaporador**, el refrigerante absorbe el calor del local a refrigerar. Puesto que el calor entra en el sistema, el  $Q_{\text{evaporador}}$  tendrá signo positivo.
- En el **compresor**, el refrigerante eleva su temperatura y su presión al actuar sobre él un trabajo para realizar la compresión. Puesto que el trabajo entra en el sistema, el  $W_{\text{compresor}}$  tendrá signo positivo.
- En el **condensador**, el refrigerante cede calor al exterior del local, por ejemplo, a la calle. Puesto que el calor sale del sistema, el  $Q_{\text{condensador}}$  tendrá signo negativo.
- En la **válvula de expansión**, el refrigerante ni cede ni absorbe calor ni trabajo.

Aplicando el principio de conservación de la energía (primer principio de la termodinámica) y puesto que se tra-



ta de un ciclo termodinámico en el que los estados inicial y final son idénticos ( $h_{ent} = h_{sal}$ ), diremos que:

$$Q_{\text{evaporador}} - Q_{\text{condensador}} + W_{\text{compresor}} = 0$$

$$Q_{\text{evaporador}} + W_{\text{compresor}} = Q_{\text{condensador}}$$

Por tanto, la cantidad de calor cedida por el condensador ( $Q_{\text{condensador}}$ ) será igual a la suma de la cantidad de calor

absorbida por el refrigerante en el evaporador ( $Q_{\text{evaporador}}$ ) y la cantidad de trabajo recibida por el refrigerante en el compresor ( $W_{\text{compresor}}$ ).

El primer principio de la termodinámica nos demuestra que, en el condensador de una máquina frigorífica, va a eliminarse el calor absorbido en el evaporador más la energía del trabajo de compresión.

### Enlaces web de interés

<http://www.codigotecnico.org>

Coefficientes de transmisión de calor, programa de Limitación de la Demanda Energética en edificios.

<http://www.idae.es/>

En la página del instituto para la diversificación y el ahorro de energía, puedes encontrar la guía técnica: diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos.

<http://www.isover.es/Aislamiento-TECNICO-Climatizacion-Industria-y-Marina>

Guía técnica del fabricante de aislamiento Isover.

<http://www.aluthermo.be/es>

Fabricante de aislantes.

<http://www.uponor.es>

Proveedor en soluciones para el transporte de fluidos en la edificación.

<http://www.tubacero.es>

Fabricante de tuberías de acero.

<http://www.fegeca.com>

Fabricantes de generadores y de emisores de calor para el agua caliente.

<http://www.danfoss.com>

Fabricante de compresores y soluciones automáticas para la industria de la refrigeración y el aire acondicionado.

- Calor es una forma de energía que se transfiere entre un sistema y sus alrededores debido a una diferencia de temperaturas. El calor será positivo si entra en el sistema, es decir, que gana calor, y será negativo si sale, es decir, si pierde calor.
- Existen tres formas de transmisión del calor:

Forma de transmisión	Definición	Velocidad de transmisión del calor	Resistencia térmica
Por radiación térmica.	La transferencia de calor se produce por la energía emitida por los cuerpos en forma de ondas electromagnéticas debido a su temperatura.	$Q_{\text{radiación}} = \epsilon \times \sigma \times A_s \times (T_s^4 - T_{\text{pared}}^4)$	
Por conducción a través de una pared.	La transferencia de calor de un cuerpo se produce como transferencia de energía cinética entre sus moléculas o entre sus moléculas y otros cuerpos.	$Q_{\text{conducción}} = \lambda \times A \times \Delta T / e$	$R_{\text{conducción}} = e / (\lambda \times A)$
Por conducción a través de tuberías.		$Q_{\text{conducción}} = 2 \times \pi \times L \times \lambda \times (T_1 - T_2) / \ln (R/r)$	$R_{\text{conducción}} = \ln (R/r) / (2 \times \pi \times L \times \lambda)$
Por convección.	La transferencia de calor se produce entre una superficie sólida y un fluido que está en movimiento.	$Q_{\text{convección}} = h \times A \times (T_{\text{superficie}} - T_{\text{fluido}})$	$R_{\text{convección}} = \frac{1}{h \times A}$

- El coeficiente total de transmisión de calor o transmitancia térmica es la inversa de la resistencia térmica total del metro cuadrado de superficie de pared.

$$U = 1/R_{\text{total interna}} = 1/(1/h_1 + e/\lambda + 1/h_2)$$

- Trabajo es una forma de energía que se transfiere entre cuerpos (un sistema y sus alrededores) y que no es debida a una diferencia de temperaturas. El trabajo es positivo si entra en el sistema desde los alrededores y es negativo si el sistema realiza el trabajo y, por tanto, sale de él hacia los alrededores.
- El primer principio de la termodinámica:
  - En el caso de un sistema cerrado, nos dice que, para variar la energía del sistema, es necesario que el sistema ceda o absorba calor o que el sistema realice o reciba un trabajo:  $Q + W = \Delta E$ .
  - En el caso de un sistema abierto, además, tendremos en cuenta el intercambio de masa:  $Q + W + M_{\text{ent}} - M_{\text{sal}} = \Delta E$ .
- El primer principio de la termodinámica para máquinas frigoríficas nos demuestra que el condensador va a eliminar el calor absorbido en el evaporador y la energía del trabajo de compresión.

## ■ Actividades de comprobación

- 3.1.** Para un sistema cerrado, el primer principio de la termodinámica o principio de conservación de la energía se expresa:
- $W = \Delta E$ .
  - $E_{\text{cinética}} + E_{\text{potencial}} = 0$ .
  - $E_{\text{cinética}} + E_{\text{potencial}} = \text{constante}$ .
  - $\Delta E_{\text{cinética}} + \Delta E_{\text{potencial}} + \Delta U = W + Q$ .
- 3.2.** Podríamos definir el calor como:
- Una forma de transmitir energía entre diferentes cuerpos.
  - La temperatura que tiene un cuerpo.
  - Un fluido que pasa de los cuerpos calientes a los cuerpos fríos.
  - Una forma de medir la energía que almacena un cuerpo.
- 3.3.** El primer principio de la termodinámica dice que, cuando un cuerpo absorbe calor:
- Se convierte íntegramente en trabajo.
  - Parte se convierte en trabajo y parte, en energía interna.
  - Siempre se convierte íntegramente en un incremento de energía interna.
  - Se cede íntegramente al exterior.
- 3.4.** El trabajo realizado sobre un objeto al trasladarlo 6 m por aplicación de una fuerza de 2 N en la dirección del desplazamiento es:
- De 12 J.
  - De 12 N.
  - De 3 J.
  - De 3 N.
- 3.5.** El calor que recibimos del Sol se transmite por:
- Radiación.
  - Conducción.
  - Convección.
  - Ninguna de las respuestas es correcta.
- 3.6.** El calor, cuando funciona el aire acondicionado, se transmite por:
- Radiación.
  - Conducción.
  - Convección.
  - Ninguna de las respuestas es correcta.
- 3.7.** El calor que recibe una cazuela de un fuego eléctrico es por:
- Radiación.
  - Conducción.
  - Convección.
  - Ninguna de las respuestas es correcta.
- 3.8.** El calor del agua de la piscina que se enfría durante la noche se transmite por:
- Radiación.
  - Conducción.
  - Convección.
  - Ninguna de las respuestas es correcta.
- 3.9.** Cuando un sistema termodinámico puede intercambiar energía, pero no materia con el exterior, puede definirse desde el punto de vista termodinámico como:
- Un sistema cerrado.
  - Un sistema intercambiador de energía.
  - Un sistema abierto.
  - Un sistema aislado.
- 3.10.** ¿Cuál es la afirmación correcta? El calor puede transferirse de tres formas:
- La conducción es la transferencia de calor a través de un objeto sólido: es lo que ocurre cuando el asa de una taza se calienta, aunque el líquido no esté en contacto directo con ella.
  - La convección se produce por el intercambio de moléculas frías y calientes: es la causa de que el agua de una cazuela se caliente uniformemente, aunque solo su parte inferior esté en contacto con el foco de calor.
  - La radiación es la transferencia de calor por radiación electromagnética: es el principal mecanismo por el que un fuego calienta un recinto.
  - La conducción es energía emitida por los cuerpos: es el principal motivo por el que una pared oscura absorbe más calor que una clara.

## Actividades de aplicación

- 3.11.** Define los tres mecanismos o modos de transmisión del calor indicando sus características fundamentales.
- 3.12.** Un radiador por el que circula vapor trabaja con una temperatura superficial de  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Su área superficial efectiva es de  $1,2\text{ m}^2$  y su emisividad es 1. Indica cuánto calor (en kcal/h) será radiado a una habitación cuya temperatura media es de  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- 3.13.** Durante el invierno, las superficies interior y exterior de una ventana de vidrio de  $0,5\text{ cm}$  de espesor y de  $2\text{ m} \times 2\text{ m}$  están a  $10$  y a  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Si la conductividad térmica del vidrio es de  $0,78\text{ W}/(\text{m} \times ^{\circ}\text{C})$ . Determina:
- La pérdida de calor por conducción en kJ durante un periodo de 5 h.
  - La pérdida de calor por conducción en kJ durante un periodo de 5 h si el vidrio tuviera un espesor de  $1\text{ cm}$ .
  - La resistencia térmica por conducción, la resistencia térmica interna y la conductividad térmica.
- 3.14.** Una pared vertical de un local se compone de:
- Enlucido cemento exterior:  $e_1 = 2,5\text{ cm}$ ;  $\lambda_1 = 1,15\text{ W}/(\text{m} \times ^{\circ}\text{C})$ .
  - Ladrillo hueco:  $e_2 = 20\text{ cm}$ ;  $\lambda_2 = 0,5\text{ W}/(\text{m} \times ^{\circ}\text{C})$ .
  - Poliuretano:  $e_3 = 14\text{ cm}$ ;  $\lambda_3 = 0,03\text{ W}/(\text{m} \times ^{\circ}\text{C})$ .
  - Enlucido de cemento interior:  $e_4 = 3\text{ cm}$ ;  $\lambda_4 = 1,15\text{ W}/(\text{m} \times ^{\circ}\text{C})$ .
  - Sus dimensiones son:  $6\text{ m} \times 4\text{ m}$  y la temperatura interior es de  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$  y la exterior de  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Sabiendo esto, calcula: la resistencia térmica total del muro, el coeficiente total de transmisión del calor y la velocidad de transmisión del calor para el muro.
- 3.15.** El muro de una cámara frigorífica de conservación de productos congelados de dimensiones  $4\text{ m} \times 3\text{ m}$  consta de:
- Revoco de cemento de  $2\text{ cm}$  de espesor ( $\lambda_1 = 0,8\text{ kcal}/(\text{h} \times \text{m} \times ^{\circ}\text{C})$ ).
  - Ladrillo macizo de  $1\text{ pie}$  ( $\lambda_2 = 0,6\text{ kcal}/(\text{h} \times \text{m} \times ^{\circ}\text{C})$ ).
  - Corcho expandido ( $\lambda_3 = 0,05\text{ kcal}/(\text{h} \times \text{m} \times ^{\circ}\text{C})$ ).
  - Ladrillo hueco de  $7\text{ cm}$  de espesor ( $\lambda_4 = 1,1\text{ kcal}/(\text{h} \times \text{m} \times ^{\circ}\text{C})$ ).
  - Revoco de cemento de  $2\text{ cm}$  de espesor ( $\lambda_5 = 0,8\text{ kcal}/(\text{h} \times \text{m} \times ^{\circ}\text{C})$ ).
- La temperatura del aire interior de la cámara es de  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  y la del aire exterior de  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Si las pérdidas de calor del muro de la cámara han de ser inferiores a  $60\text{ kcal}/\text{h}$ , determina: el coeficiente total de transmisión de calor y el espesor de aislamiento (corcho) que debe colocarse.
- Los coeficientes superficiales de transmisión de calor exterior e interior son  $20$  y  $12\text{ kcal}/(\text{h} \times \text{m}^2 \times ^{\circ}\text{C})$ , respectivamente.
- 3.16.** Calcula cuántas kcal/h se perderán por conducción a través de una puerta de roble ( $\lambda = 0,5\text{ W}/(\text{m} \times ^{\circ}\text{C})$ ) de  $40\text{ mm}$  de espesor,  $90\text{ cm}$  de ancho y  $210\text{ cm}$  de altura si la temperatura de la superficie interior es de  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  y la temperatura de la superficie exterior de  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- 3.17.** Un tubo de cobre de  $10\text{ m}$  por el que circula vapor saturado a  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  tiene un diámetro interior de  $12\text{ cm}$  y exterior de  $15\text{ cm}$ . Está ubicado en el interior de un local a  $28\text{ }^{\circ}\text{C}$  y se sabe que, en la parte exterior del tubo, hay una coquilla que actúa de aislante de  $3\text{ cm}$  de espesor. Compara la pérdida de calor a través del tubo sin aislar y si después le colocamos un aislante. Dato: la conductividad térmica del tubo es de  $0,4\text{ W}/(\text{m} \times \text{K})$  y la del aislante es de  $0,30\text{ W}/(\text{m} \times \text{K})$ .
- 3.18.** Una grúa con un motor de  $10\text{ CV}$  eleva  $1.000\text{ kg}$  de hierro hasta una altura de  $50\text{ m}$  del suelo en  $2\text{ min}$ .
- Expresa la potencia del motor en vatios.
  - Establece qué trabajo realiza el motor.
- 3.19.** Calcula el trabajo que realiza el motor de un ascensor en una atracción para subir  $906\text{ kg}$ , teniendo en cuenta la masa del ascensor y la de los pasajeros, hasta una altura de  $42\text{ m}$ . Averigua la potencia desarrollada por el motor si tarda en subir  $28\text{ s}$ .
- 3.20.** Indica cómo se aplica la primera ley de la termodinámica a cada uno de los elementos básicos de una máquina frigorífica. Ten en cuenta la cantidad de calor y el trabajo de cada elemento.
- 3.21.** En un laboratorio, se lleva a cabo una combustión quemando una mezcla de gasolina y de oxígeno en una probeta de volumen constante sumergida en agua. Durante la combustión, se observa que la temperatura del agua aumenta.
- Razona si existe transferencia de calor.
  - Indica si se efectúa algún trabajo y justifica tu respuesta.
  - Deduce el signo de la variación de la energía.

## Actividades de ampliación

**3.22.** LIDER es un programa informático que permite cumplir con la exigencia de Limitación de Demanda Energética establecida en el Documento Básico de la Habitabilidad y Energía del Código Técnico de la Edificación (CTE-HE1). Este programa está diseñado para verificar las exigencias del CTE y, para ello, se realiza una descripción geométrica, constructiva y operacional de los edificios.

El programa puede descargarse a través de la página web: <http://www.codigotecnico.org/web>.

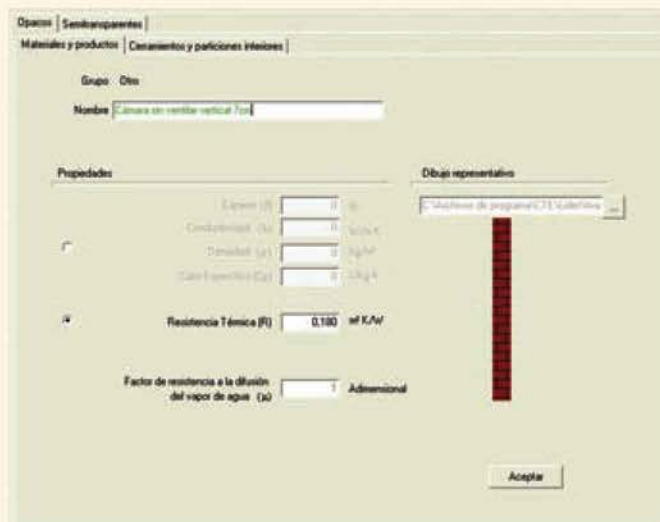


Figura 3.16. Cámara de aire sin ventilación vertical de 7 cm

Realiza la siguiente actividad: tenemos una fachada de obra vista compuesta por los siguientes materiales:

- $\frac{1}{2}$  pie LM métrico o catalán 40 mm <  $G < 50$  mm cuyo espesor es de 0,13 m y su resistencia térmica es de 0,30 m<sup>2</sup> K/W.
- Poliuretano proyectado cuyo espesor es de 0,03 m y su resistencia térmica es de 0,50 m<sup>2</sup> K/W.
- Cámara sin ventilar vertical de 7 cm cuyo espesor es de 0,07 m y su resistencia térmica es de 0,18 m<sup>2</sup> K/W.
- Tabique de LH sencillo (40 mm < espesor < 60 mm) cuyo espesor es de 0,04 m y su resistencia térmica es de 0,44 m<sup>2</sup> K/W.
- Enlucido de yeso < 1.000 cuyo espesor es de 0,01 m y su resistencia térmica es de 0,40 m<sup>2</sup> K/W.

Determina el coeficiente total de transmisión de calor o transmitancia térmica ( $U$ ) a partir de los cálculos descritos en el tema y el programa LIDER. Comprueba que, en ambos casos, el resultado es el mismo.

**3.23.** El aire transmite calor por convección, lo que reduce su capacidad de aislamiento. Por esta razón, se utilizan como aislamiento térmico materiales porosos o fibrosos, capaces de impedir el paso del aire y de retenerlo en el interior de celdillas más o menos estancas. Esto explica por qué, aunque la madera es mejor aislante que el vidrio, suele emplearse fibra de vidrio (material fibroso) para aislar construcciones de madera.

Realiza la siguiente actividad: busca en internet otros materiales aislantes y compara sus coeficientes de conductividad térmica. Señala cuáles serán mejores aislantes: los que tienen un coeficiente alto o los que lo tienen bajo.

**3.24.** En el reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas, se nos indica qué recipientes, intercambiadores o tuberías y accesorios que trabajen a temperaturas por debajo de 15 °C deberán estar protegidos mediante aislamiento térmico.

También se indica que el aislamiento deberá estar protegido mediante una barrera de vapor, aplicada en la parte exterior del aislante, excepto cuando la permeabilidad del aislante sea suficientemente baja como para garantizar una protección equivalente.

A partir de la información anterior, realiza la siguiente actividad:

Calcula a qué temperatura deberá estar la barrera de vapor si sabemos que esta hace de aislante de una tubería de acero de 10 cm de diámetro interior, 2 cm de espesor y 1 m de longitud por la que circula un fluido a 10 °C, en caso de querer limitar la pérdida de calor a 240 KW. Toma el valor de conductividad térmica del acero de la Tabla 3.3.

**3.25.** Las cámaras frigoríficas deberán ser diseñadas para mantener en condiciones adecuadas el producto que contienen. Para alcanzar este objetivo, existe una gran diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la misma, por ello se aislarán térmicamente con materiales como el poliestireno expandido, poliestireno extruido, espuma rígida de poliuretano, espumas fenólicas, vidrio celular, corcho expandido, paneles sándwich aislante con recubrimiento metálico o paneles sándwich de poliuretano inyectado. Además, para garantizar la minimización del impacto ambiental, la potencia calorífica que atravesará las paredes será inferior a 8 W/m<sup>2</sup> para temperaturas positivas (productos frescos) y de 6 W/m<sup>2</sup> para cámaras con temperatura negativa (productos congelados).

A partir de la información anterior, realiza la siguiente actividad:

Calcula el espesor mínimo de una cámara frigorífica de  $2 \text{ m}^2$  de superficie para conservar guisantes congelados a una temperatura de  $-18 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ten en cuenta que la temperatura exterior es de  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  y que la conductividad térmica de las paredes de la cámara es de  $0,02 \text{ W/m} \times \text{K}$ .

- 3.26.** En un local refrigerado cuyas dimensiones son  $4 \text{ m}$  de ancho y  $6 \text{ m}$  de largo, se desea mantener una temperatura de  $13 \text{ }^\circ\text{C}$ . Dado que ésta temperatura es inferior a la del ambiente ( $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ), el local deberá estar aislado con criterios de optimizar los costes de inversión y consumo eléctrico. El aislamiento se selecciona y dimensiona para conseguir un flujo térmico inferior a  $15 \text{ W/m}^2$  (para temperaturas de diseño entre  $7$  y  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ), de acuerdo con la normativa. Compara el espesor mínimo necesario de aislamiento si se aísla térmicamente con alguno de los siguientes materiales:

Poliestireno expandido. ( $\lambda_1 = 0,038 \text{ w /m} \times \text{k}$ )

Poliestireno extruido. ( $\lambda_2 = 0,034 \text{ W/mK}$ )

Espuma rígida de poliuretano. ( $\lambda_3 = 0,024 \text{ W/mK}$ )

Espumas fenólicas. ( $\lambda_4 = 0.02 \text{ w/m K}$ )

Vidrio celular. ( $\lambda_5 = 0,042 \text{ W/mK}$ )

Corcho expandido. ( $\lambda_6 = 0,039 \text{ W /mk}$ )

Paneles sándwich aislante con recubrimiento metálico. ( $\lambda_7 = 0,0375 \text{ W/ mk}$ )

Paneles sándwich de poliuretano inyectado. ( $\lambda_8 = 0.024 \text{ W/mk}$ )

- 3.27.** La puerta isoterma de una cámara frigorífica, cuya superficie es  $30 \text{ m}^2$ , lleva dispositivos que permiten su apertura manual desde dentro sin necesidad de llave, aunque desde el exterior se pueda cerrar con llave, de forma que cumple con la normativa. Se desea incorporar a la misma dispositivos de calentamiento, ya que la temperatura interna es inferior a  $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Los dispositivos de calentamiento (protegidos mediante un diferencial sensible al contacto de las personas) se pondrán en marcha siempre que funcione la cámara por debajo de dicha temperatura, sin interponer interruptores que puedan impedirlo.

El aislamiento de la puerta se ha de seleccionar en coherencia con el aislamiento de las paredes. De forma que su resistencia térmica será al menos el  $70 \%$  del valor de la resistencia térmica de la pared salvo si la diferencia entre el interior de la cámara y el exterior de la puerta sea igual o inferior a  $10 \text{ K}$ , en cuyo caso será del  $50 \%$ .

Responde a las siguientes cuestiones:

- Indica qué tipo de dispositivos de calentamiento se deberán instalar.
- Calcula el valor mínimo de espesor del poliestireno expandido. ( $\lambda = 0,038 \text{ w /m} \times \text{k}$ ) que actúa de aislamiento de la cámara cuyas paredes tienen una resistencia térmica de  $0,67 \text{ }^\circ\text{C/W}$ .

# Psicometría y aire acondicionado



Los avances de la climatización tienen su origen en la necesidad de proporcionar unas condiciones ambientales óptimas que permitan a las personas mantener una sensación agradable en el entorno en el que se encuentran. También fue de gran importancia la Revolución industrial porque se hizo necesario establecer indicadores concretos de temperatura y de humedad para el desarrollo de determinadas industrias como, por ejemplo, la textil. En el estudio del aire acondicionado, no solo es importante tener en cuenta la temperatura del local que queremos climatizar, sino que también influirán factores (humedad, entalpía del aire, etc.) que determinan las condiciones óptimas para desarrollar una actividad.

# 4

## Contenidos

- 4.1. Psicometría
- 4.2. Diagrama psicométrico
- 4.3. Procesos de tratamiento de aire
- 4.4. Unidad de tratamiento de aire
- 4.5. Cálculo de cargas térmicas de refrigeración
- Resumen
- Actividades finales

## Objetivos

- Reconocer la importancia del aire acondicionado.
- Distinguir las diferentes propiedades del aire húmedo.
- Clasificar los procesos de tratamiento del aire.
- Conocer el cálculo de cargas térmicas.

## 4.1. Psicometría

En el estudio del aire acondicionado, no solo es importante tener en cuenta la temperatura del local que queremos climatizar, sino también otros factores que determinan la sensación de confort de las personas que se encuentran en dicho local, estos factores son: la humedad, la renovación del aire y la ausencia de contaminación en el mismo. El cuerpo de una persona siempre trata de mantenerse en el rango que llamamos *confort térmico*, por ello, cuando siente calor, aumenta la circulación de la sangre en la superficie de la piel, así como la sudoración, y el cuerpo consigue eliminar calor. En caso contrario, cuando siente frío, lo que busca es aumentar la resistencia térmica de la piel y se produce el efecto que cotidianamente expresamos como «ponerse la piel de gallina». Las condiciones óptimas de confort para el ser humano están entre 21 y 25 °C y entre el 40 y el 60 % de humedad relativa (de acuerdo con el RITE).



Figura 4.1. La humedad del aire se condensa formando el rocío sobre las hojas

Pero ¿qué es la psicometría? Para entenderlo, mejor vamos a ver primero una serie de conceptos:

- **Aire atmosférico.** Es una mezcla de gases (78 % nitrógeno, 21 % oxígeno y otros gases) con vapor de agua y otras sustancias (contaminantes, polvo, etc.).
- **Aire seco.** Se trata de una mezcla de gases en ausencia de agua.
- **Aire húmedo.** Se trata de una mezcla de gases con vapor de agua.

Este último, el aire húmedo, será el que empleemos para la psicometría y el estudio del aire acondicionado, de forma que se llama *psicometría* al «estudio de las propiedades del aire húmedo».

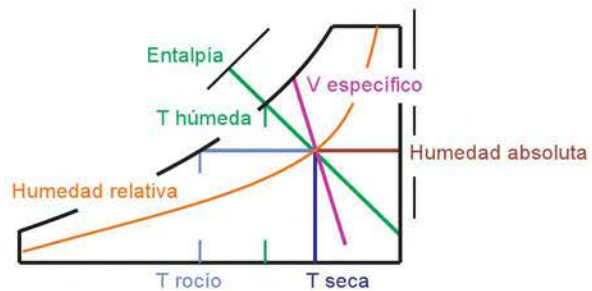


Figura 4.2. Identificación de las propiedades del aire húmedo en un diagrama psicrométrico

### SABÍAS QUE...

Psicometría deriva de las palabras *psico*, «frío», y *metría*, «medida», y nos da una medida del frío en función de la temperatura y de la humedad.

## 4.2. Diagrama psicrométrico

Las propiedades del aire húmedo se representan en el diagrama psicrométrico, de forma que, conociendo dos propiedades, podemos determinar todas las demás. Los parámetros del aire húmedo son los siguientes:

- **Humedad absoluta o específica (W).** Es la relación entre la masa de vapor de agua y la masa de aire seco.

$$W = M_{\text{vapor agua}} / M_{\text{aire seco}} \quad (\text{g/kg})$$

En el diagrama psicrométrico, se representa en el eje vertical.

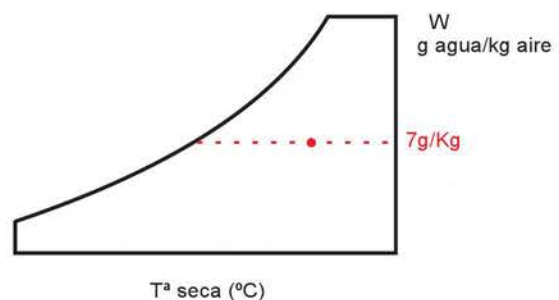


Figura 4.3. Línea de humedad absoluta

- **Humedad relativa (Hr).** Es el cociente entre la presión de vapor de agua del aire húmedo y la presión de vapor saturado.

$$Hr = p_{\text{vapor agua}} / p_{\text{vapor agua saturado}}$$



Al multiplicarlo por 100 nos dará el resultado en tanto por ciento. Cuanto más próximo este su valor al 100 %, nos indica que el vapor de agua está más cerca de condensarse, pero no significa que tenga un mayor porcentaje de vapor de agua.

### RECUERDA

Cuanto más cerca se este de la saturación, más próximo está el vapor de agua a cambiar de estado y a condensarse. Esto es lo que ocurre en un día con niebla.

En el diagrama psicométrico, viene representado por curvas que atraviesan el diagrama. Encima de cada curva, aparece un número que enuncia el porcentaje de humedad y la curva más a la derecha representa el 100 %.

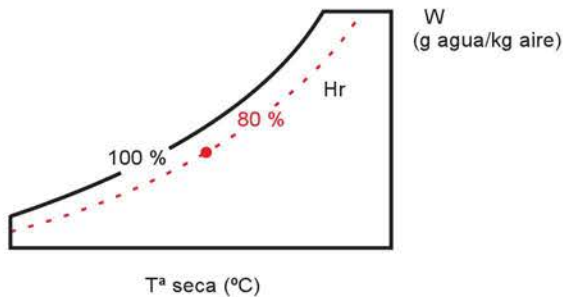


Figura 4.4. Línea de humedad relativa

Normalmente, la humedad relativa se mide con un aparato llamado *psicrómetro*, que consiste en un termómetro de bulbo seco y otro de bulbo húmedo (el bulbo del termómetro se encuentra envuelto en una gasa húmeda). La diferencia entre las dos temperaturas da como resultado la humedad relativa.

- **Temperatura de bulbo seco (Ts).** Se trata de la temperatura medida con un termómetro normal. Su unidad es el °C.

En el diagrama, se mide sobre el eje horizontal.

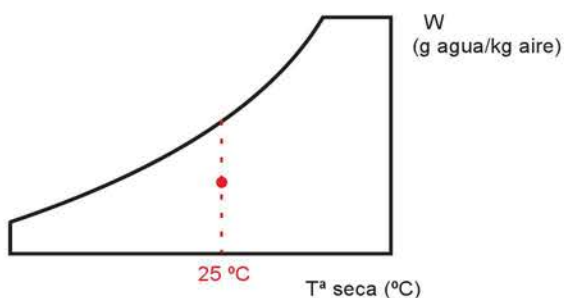


Figura 4.5. Línea de temperatura seca

- **Temperatura de bulbo húmedo (Th).** Se trata de la temperatura medida con un termómetro que tiene su bulbo envuelto con una gasa humedecida. Su unidad es el °C.

En el diagrama, se mide trazando una perpendicular al eje de entalpía que atraviese el punto. Esa recta se corta con la línea de saturación y el punto de corte nos indicará el valor de Th al trazar una vertical que nos permita dar el valor de temperatura sobre el eje horizontal de la gráfica.

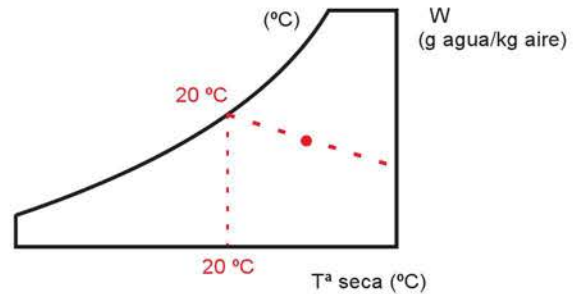


Figura 4.6. Línea de temperatura húmeda

- **Temperatura de rocío (Tr).** Es la temperatura a la que comienza la condensación del vapor de agua contenido en el aire. Su unidad es el °C.

En el diagrama, se representa buscando el punto de corte de la humedad absoluta con la curva de saturación. A partir de ese punto y trazando una vertical, se medirá la temperatura sobre el eje horizontal de la gráfica.

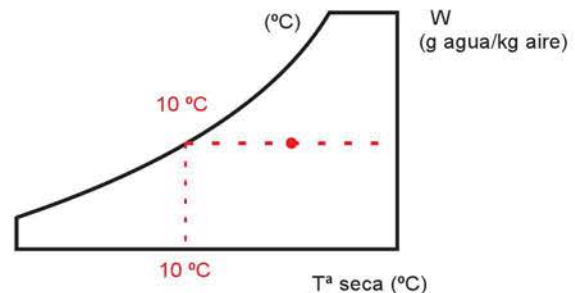


Figura 4.7. Línea de temperatura de rocío

- **Volumen específico (V<sub>esp</sub>).** Es el volumen que ocupa la unidad de masa de aire.

$$V_{\text{esp}} = V/M \text{ (m}^3/\text{kg)}$$

En el diagrama, viene representado por las líneas inclinadas hacia la derecha que atraviesan el gráfico.

La densidad (d) es la inversa al volumen específico.

$$d = 1/V_{\text{esp}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

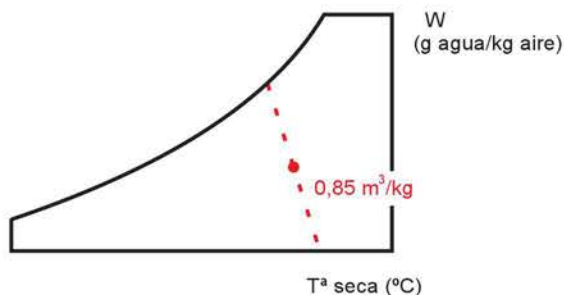


Figura 4.8. Línea de volumen específico

- **Entalpía del aire húmedo (h).** Nos indica el contenido total de calor del aire. El calor total es la suma de calor sensible y de calor latente. Sus unidades son los kJ/kg de aire o las kcal/kg.

En el diagrama, se miden sobre un eje inclinado que se encuentra en la parte izquierda de la gráfica. Para hallar el valor de entalpía de un punto, debe trazarse una línea perpendicular al eje de entalpías que atravesase por dicho punto.

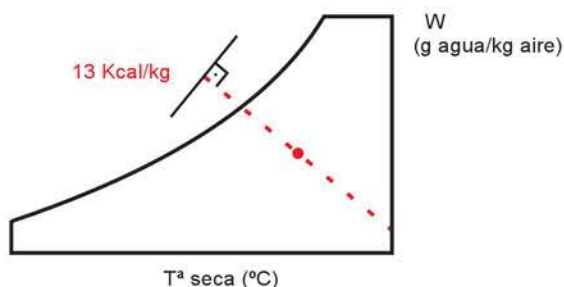


Figura 4.9. Línea de entalpía

- **Factor de calor sensible (FCS).** Es la relación entre el calor sensible y el calor total.

En el diagrama, su escala se encuentra representada en vertical en la parte derecha de la gráfica. Para hallar el valor FCS de una transformación, debe trazarse una línea paralela que pase por el punto focal. El punto focal está a 26 °C y un 50 % Hr, que se toma como referencia.

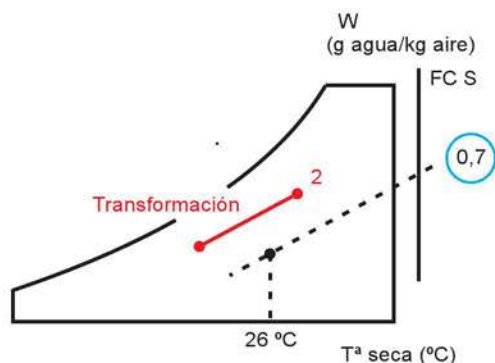


Figura 4.10. Representación del factor de calor sensible

**Actividad resuelta**

4.1. Un día de verano en Madrid, se registraron los siguientes datos meteorológicos: temperatura 35 °C, presión 101,325 kPa, humedad relativa del aire de un 25 %. Calcula:

- La humedad específica.
- La temperatura de rocío.
- La temperatura húmeda.

**Solución:**

- Como podemos observar en el diagrama, tendremos 9 g/kg.

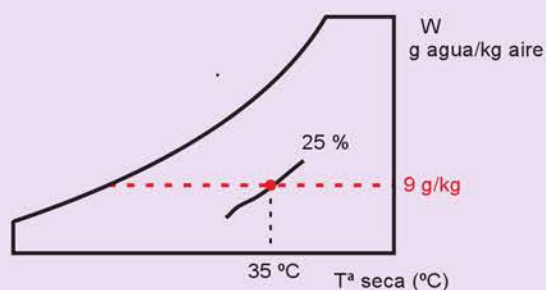


Figura 4.11. Cálculo de la humedad específica

- La temperatura de rocío será de 12 °C.

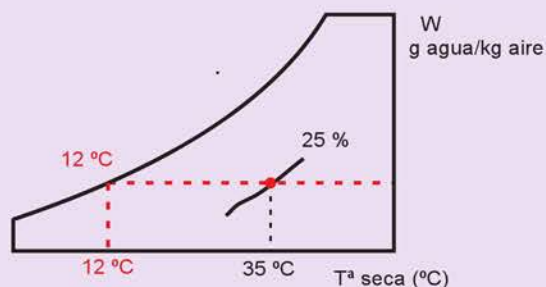


Figura 4.12. Cálculo de la temperatura de rocío

- La temperatura húmeda será de 20 °C.

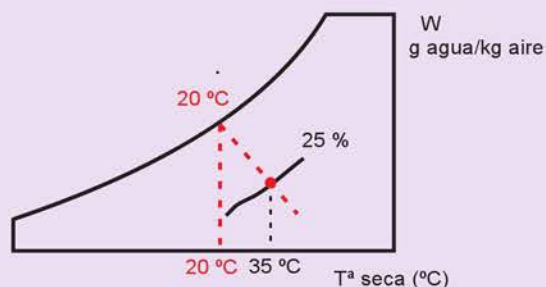


Figura 4.13. Cálculo de la temperatura húmeda

### SABÍAS QUE...

Carrier fue el gran inventor del aire acondicionado. Descubrió la relación entre temperatura y humedad, que se recoge en los diagramas psicométricos o de Carrier, al contemplar la niebla. Creó la compañía de aire acondicionado más importante y que continúa en la actualidad: Carrier Engineering Corporation. En 1920, Carrier crea el primer equipo de aire acondicionado tipo ventana, aunque, debido a la segunda guerra mundial, no se comercializaría hasta años más tarde.

### Actividad propuesta

- 4.1. Si tenemos una temperatura de 22 °C y una humedad relativa del 55 %, calcula la humedad específica y la temperatura húmeda.

### Actividad propuesta

- 4.2. Si la temperatura seca es de 25 °C y la temperatura húmeda es de 15 °C, averigua la humedad específica y la humedad relativa.

### Actividad resuelta

- 4.2. En la habitación de una vivienda, tenemos las siguientes condiciones: temperatura a 22 °C y humedad relativa del 50 %. Sabiendo que la temperatura en la superficie exterior de la ventana es de 15 °C. ¿Se producirá condensación en el interior de la ventana?

#### Solución:

Necesitamos ver si el punto de rocío con las condiciones interiores de la habitación es mayor o menor que la temperatura en la superficie de la ventana. Si el punto de rocío es mayor, nos indica que sí se producirá condensación.

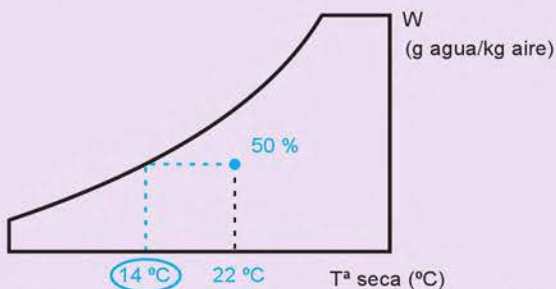


Figura 4.14. Cálculo de la temperatura de rocío

Puesto que la temperatura de rocío es de 14 °C, sabemos que no condensará ya que está por debajo de los 15 °C que teníamos en la superficie de la ventana.

### Actividad resuelta

- 4.3. En un equipo de tratamiento de aire, se transforma aire a 35 °C y al 40 % de humedad relativa en aire a 22 °C y al 55 % de humedad relativa. ¿Cuál será el FCS del proceso? ¿Cuál será la humedad específica final?

#### Solución:

Lo primero será dibujar la transformación sobre el diagrama psicométrico.

Para hallar el FCS, trazamos una paralela a la transformación que pase por el punto focal que se encuentra a 26 °C y al 50 % de humedad relativa.

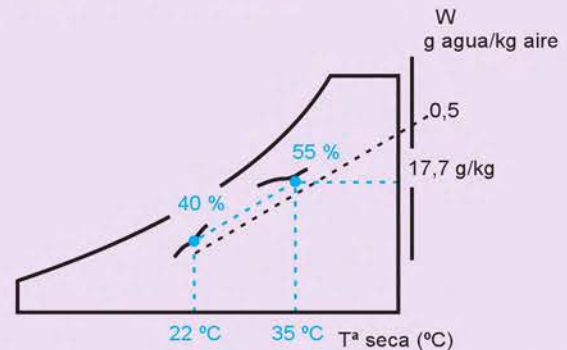


Figura 4.15. Cálculo del FCS

Con ello, obtenemos un FCS de 0,5 y una humedad específica de 17,7 g/kg.



Figura 4.16. Equipo de tratamiento de aire

### Actividad propuesta

- 4.3. Si tenemos aire con unas condiciones de 18 °C y de 5 g/kg de humedad específica y queremos aumentar su temperatura hasta los 25 °C de forma que FCS sea 0,6, determina cuál será la humedad del aire.

## 4.3. Procesos de tratamiento de aire

¿Cómo conseguimos que el aire alcance las condiciones de confort deseadas? Para ello, debemos someter el aire a distintos tratamientos que permitirán transformar las propiedades del aire húmedo. Estos tratamientos son los siguientes:

- **Mezcla de dos caudales de aire húmedo.** Es uno de los procesos básicos que tiene lugar en el aire acondicionado. Se lleva a cabo en una caja de mezcla. Mezclamos dos volúmenes de aire a distintas temperaturas y humedades y tenemos como resultado otro volumen mezcla de los dos, con nuevas condiciones de temperatura y de humedad.

$$V_{3(\text{mezcla})} = V_1 + V_2$$

El punto de la mezcla estará situado sobre la línea que une los dos puntos correspondientes a los dos volúmenes de aire de partida. La situación de ese punto de mezcla sobre la recta podemos determinarlo por proporcionalidad entre rectas:

$$V_1/V_3 = (T_3 - T_2)/(T_1 - T_2)$$

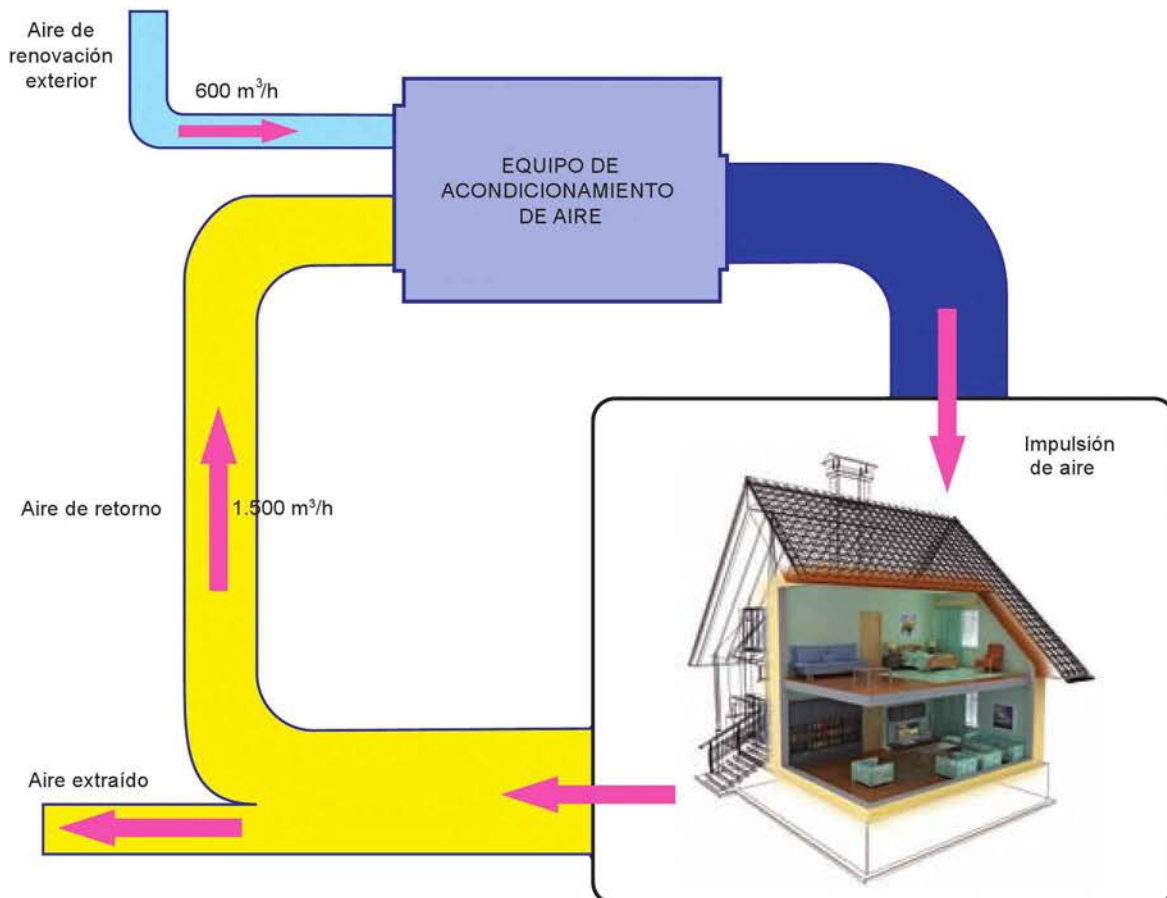


Figura 4.18. Mezcla de caudal de aire de retorno y de renovación

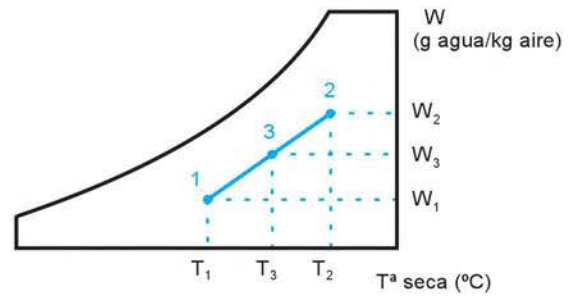


Figura 4.17. Mezcla de dos caudales de aire húmedo

### Actividad propuesta

4.4. Halla las condiciones de una mezcla de dos caudales con las siguientes características:

- $T_s = 18\text{ °C}$ ;  $H_r = 70\%$  y caudal de  $200\text{ m}^3/\text{h}$ .
- $T_s = 25\text{ °C}$ ;  $W = 10\text{ g/kg}$  y caudal de  $1.000\text{ m}^3/\text{h}$ .

Para ello, indica: la temperatura seca, la temperatura húmeda, la humedad relativa y la humedad absoluta.

### Actividad resuelta

**4.4.** A una caja de mezclas de un equipo de acondicionamiento de aire, llegan dos caudales de aire, uno a 30 °C y al 70 % de humedad relativa y otro a 22 °C y al 60 % de humedad relativa. Sabiendo que los caudales son de 600 m<sup>3</sup>/h y de 1.500 m<sup>3</sup>/h, respectivamente. ¿Cuáles serán las características de la mezcla? Para responder, indica las siguientes variables:

- Temperatura seca.
- Temperatura húmeda.
- Humedad absoluta.
- Humedad relativa.

#### Solución:

Lo primero será calcular el caudal total de la mezcla. Después, dibujaremos los dos puntos que representan los caudales de entrada (1 y 2) y, sobre la recta que une esos dos puntos, se encontrará el punto de mezcla (3).

$$V_{\text{total}} = 600 \text{ m}^3/\text{h} + 1.500 \text{ m}^3/\text{h} = 2.100 \text{ m}^3/\text{h}$$

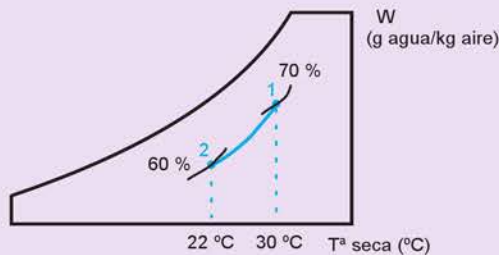


Figura 4.19. Representación de los dos caudales de entrada (punto 1 y 2)

El punto de la recta en la que se encuentra la mezcla se determina por proporcionalidad de segmentos, de tal forma que tenemos:

$$V_1/V_3 = (T_3 - T_2)/(T_1 - T_2)$$

$$T_3 = (V_1/V_3) \times (T_1 - T_2) + T_2$$

$$T_3 = (600/2.100) \times (30 - 22) + 22 = 24,32 \text{ °C}$$

A partir de esta temperatura de 24,32 °C, que será la temperatura seca de la mezcla, podemos determinar sobre el diagrama las restantes propiedades.

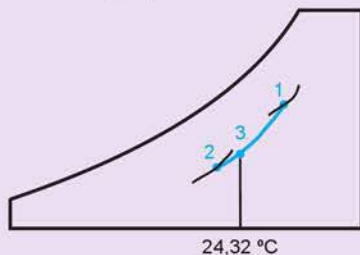


Figura 4.20. Cálculo de la temperatura de la mezcla

- 24,32 °C.
- 20 °C.
- 13 g/kg.
- 67 %.

- **Calentamiento sensible.** En este proceso, se aumenta la temperatura de un caudal de aire sin quitar o añadir humedad. Por tanto, mantendremos constante la humedad absoluta.

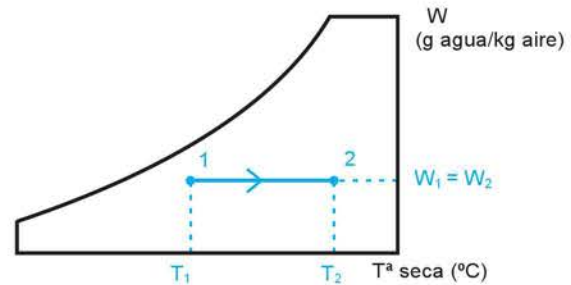


Figura 4.21. Calentamiento sensible

### Actividad propuesta

**4.5.** A una masa de aire de una temperatura de 20 °C y de una humedad del 50 %, se le realiza un calentamiento sensible hasta alcanzar una temperatura de 28 °C. Señala cuál será la variación de entalpía que se produce.

- **Enfriamiento sensible.** Consiste en disminuir la temperatura del aire sin variar la humedad del mismo. Disminuye la temperatura y la entalpía, aumenta la humedad relativa y se mantiene constante la humedad específica.

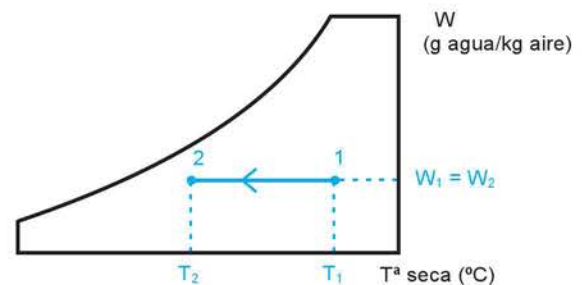


Figura 4.22. Enfriamiento sensible

- **Humidificación sin variación de temperatura.** Aumenta el contenido de humedad sin variar la temperatura seca del aire.

### RECUERDA

La variación de entalpía en un calentamiento sensible es debida al calor por incremento de temperatura (calor sensible) y no habrá, por tanto, variación de calor latente porque no se produce cambio de estado (no se incrementa el contenido de humedad del aire).

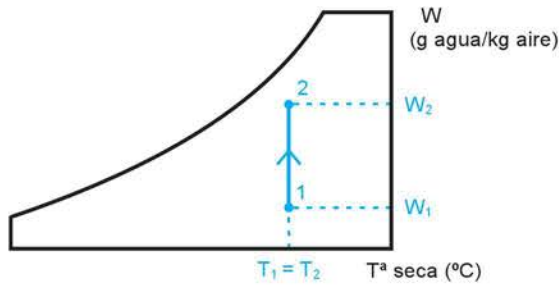


Figura 4.23. Humidificación sin variación de temperatura

En caso de ir desde el punto 2 al 1, tendríamos una **deshumidificación sin variación de temperatura**, es decir, disminuiría el contenido de vapor de agua del aire.

- **Humidificación sin aporte o retirada de calor.** Aumenta la humedad absoluta del aire sin que se produzca variación en la entalpía. Si aumentamos su humedad hasta llegar a que el vapor de agua comience a condensarse, el aire final estaría a la temperatura de saturación.

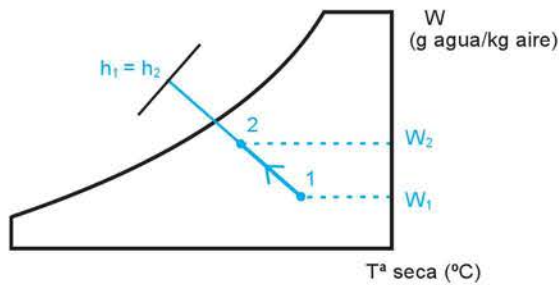


Figura 4.24. Humidificación sin aporte de calor

Una **deshumidificación sin variación de entalpía** se produce si pasamos el aire de las condiciones del punto 2 hasta las condiciones del punto 1.

- **Humidificación con aporte o retirada de calor.** Se trata de un aumento del contenido de humedad del

aire con una variación de la entalpía. Si se aporta calor, se produce un aumento de la entalpía y, si se quita calor, disminuye.

- **Humidificación con calentamiento.** Se produce aporte de calor y aumentamos el contenido de humedad del aire. En el caso de ir del punto 2 al 1, tendríamos **deshumidificación con enfriamiento** (Figura 4.25.).

**Actividad propuesta**

- 4.6. Calcula la cantidad de agua que hay que añadir para pasar aire atmosférico de 2 °C y al 70 % de humedad a 26 °C y al 40 % de humedad.

**Actividad propuesta**

- 4.7. En una industria textil, se produce un tratamiento de aire en el que el proceso es una humidificación sin aporte ni pérdida de calor. El aire de salida sale a temperatura de vapor saturado. Indica la temperatura húmeda y la humedad absoluta para los casos en los que las condiciones del aire de entrada sea:

- $T_s = 33 \text{ °C}$  y  $H_r = 50 \%$ .
- $T_s = 29 \text{ °C}$  y  $W = 8,5 \text{ g/kg}$ .
- $H_r = 35 \%$  y  $W = 10 \text{ g/kg}$ .

**SABÍAS QUE...**

Las primeras industrias en aplicar los equipos de acondicionamiento de aire fueron las textiles (debido a la importancia de la humedad para las telas e hilos). Más adelante, su utilización se extendería a industrias del tabaco, a laboratorios farmacéuticos y a la panadería para, finalmente, emplearse en todos los ámbitos.

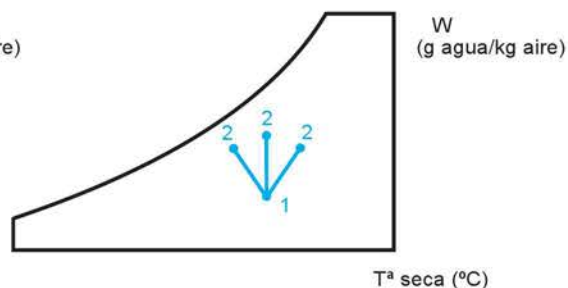
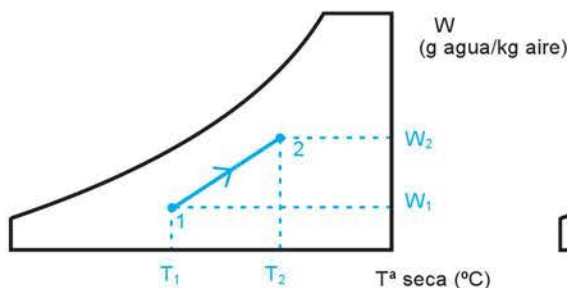


Figura 4.25. Humidificación con calentamiento

### Actividad resuelta

4.5. Para las siguientes condiciones: 40 °C, presión de 101,325 kPa y humedad relativa del aire del 30 %. Se desea calcular:

- La humedad específica.
- La temperatura de rocío.
- La temperatura húmeda.
- El calor a evacuar en 1 kg de aire para alcanzar la temperatura de rocío.
- La cantidad de agua a añadir a 1 kg de aire para alcanzar la temperatura húmeda.

**Solución:**

- 14,1 g/kg.
- 19,2 °C.
- 25,2 °C.

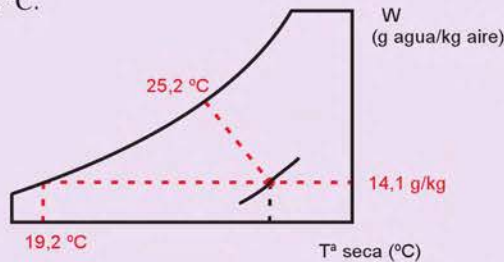


Figura 4.26. Cálculo de la humedad específica, la temperatura de rocío y la temperatura húmeda

- Para calcular el calor a evacuar, tendremos que ver el valor de entalpía en cada punto.

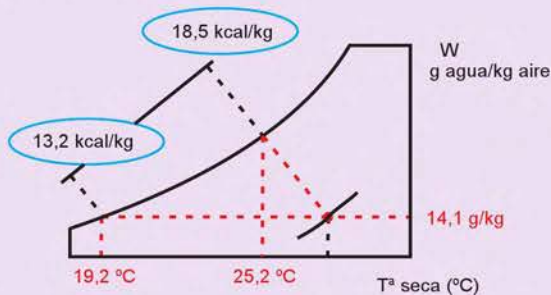


Figura 4.27. Cálculo del calor a evacuar

El incremento de entalpía será de  $18,5 - 13,2 = 5,3$  kcal/kg.

Por lo tanto, el calor a evacuar será de 5,3 kcal.

- Para calcularlo, tendremos que ver la humedad específica para cada punto.

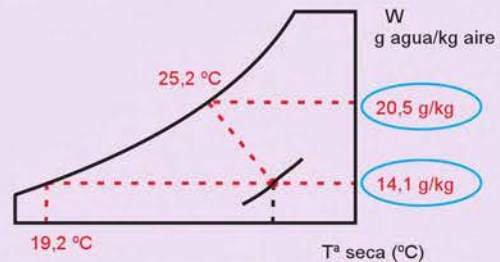


Figura 4.28. Cálculo de la humedad a aportar

El incremento de humedad será de  $20,5 - 14,1 = 6,4$  g/kg.

Por lo tanto, la humedad a añadir será de 6,4 g de agua.

## 4.4. Unidad de tratamiento de aire

Cuando tenemos sistemas centralizados en los que queremos climatizar por aire, se emplean las Unidades de Tratamiento de Aire (UTA), que suelen ir colocadas en las cubiertas de los edificios. En ellas, se llevarán a cabo distintos procesos para tratar el aire con el objetivo de obtener un volumen de aire con las condiciones deseadas de temperatura y de humedad.



Figura 4.29. Unidad de tratamiento de aire (a)



Figura 4.30. Unidad de tratamiento de aire (b)

Una UTA puede estar compuesta por:

1. **Caja de mezcla.** Se mezclan dos caudales de aire, uno que es **aire de retorno** del local a climatizar y el otro que es **aire exterior**. Pero ¿por qué no se utiliza solo aire exterior? La respuesta la tenemos si pensamos en el ahorro de energía. Si puede aprovecharse la energía del aire que ya ha sido tratado, obtendremos una mejora de la eficiencia. La razón de introducir aire del exterior es la necesidad de renovar el aire del local a climatizar.

Así pues, en la caja de mezcla, tendremos un proceso de mezcla de dos caudales de aire húmedo.

2. **Compuerta de admisión de aire exterior.** Entrada de aire del exterior para ser tratado.
3. **Compuerta de retorno de aire.** Normalmente, cuenta con un ventilador para facilitar el movimiento del aire.
4. **Batería de enfriamiento.** Cuando se hace necesario disminuir la temperatura del aire resultante de la mezcla.

5. **Batería de calentamiento.** Cuando se hace necesario aumentar la temperatura del aire resultante de la mezcla.
6. **Batería de humidificación.** Cuando se hace necesario aumentar la humedad del aire tratado.
7. **Filtro.** Dependiendo de la aplicación, los tipos de filtros que se necesitan son diferentes. Por ejemplo, en el caso de los quirófanos de los hospitales, estos filtros serán específicos.
8. **Compuesta de aire de impulsión.** Es el aire en condiciones de entrar en el local una vez que ha pasado por los distintos tratamientos. Suele contar con un ventilador.

La combinación de varias de las anteriores etapas permite adaptar la UTA a las necesidades concretas del local a climatizar.

En las unidades de tratamiento de aire, partimos de dos volúmenes de entrada: uno del exterior y otro del local. Cabe preguntarnos ¿en qué proporciones entrarán cada uno de ellos? Esto nos lleva a un nuevo concepto, el **enfriamiento gratuito o free-cooling**, este consiste en poder variar el caudal de aire de entrada exterior mediante compuestas motorizadas de tal forma que, dependiendo de las condiciones del aire exterior, permitamos entrar un mayor o menor caudal del mismo. Por ejemplo, si queremos impulsar aire a un local a 18 °C y la temperatura del aire exterior es de 18 °C, impulsaremos todo el aire del exterior, que no necesitará ningún tratamiento, y no lo mezclaremos con el aire de retorno, que será expulsado al exterior. Por el contrario, si la temperatura exterior es de 30 °C (en mayo, por ejemplo), mezclaremos el aire del exterior con el de retorno de forma que tan solo expulsemos al exterior la cantidad mínima que permita la renovación de aire.

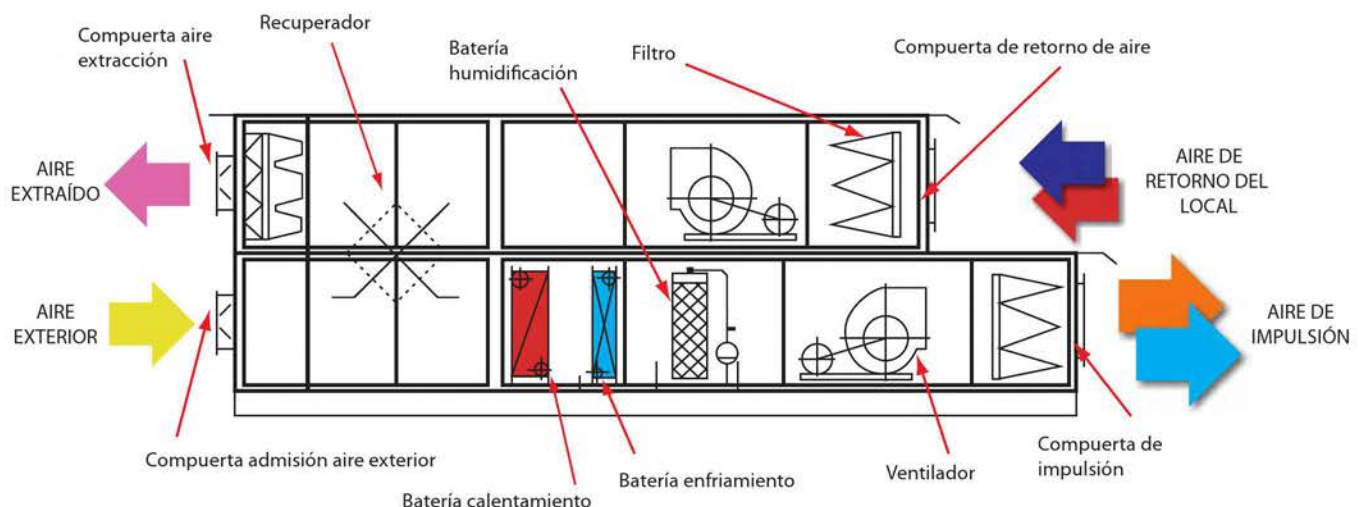


Figura 4.31. Esquema de unidad de tratamiento de aire



Otra opción para mejorar la eficiencia energética de estos equipos son los **recuperadores entálpicos**. Estos permiten recuperar energía del aire de expulsión del local antes de que llegue a la calle, para conseguirlo, se cruzan los caudales de aire de expulsión y del aire exterior sin que se mezclen, pero sí intercambiando su energía. De esta forma, por ejemplo, si queremos tener dentro del local  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$  y el aire de entrada está a  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  y el aire de salida del local a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , se aprovecha la energía del aire de salida a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  para enfriar el aire de entrada a  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . De esta forma, el aire que tenemos que tratar estará a una temperatura por debajo de los  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Existen dos tipos de recuperadores entálpicos:

1. De flujos cruzados.
2. Rotativos.

### Actividad propuesta

**4.8.** Una UTA trata el aire de una sala de reuniones de un edificio de oficinas. Se conocen los siguientes datos:

- Condiciones de la sala:  $T_s = 17\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $H_r = 90\%$ .
- Caudal de aire de retorno que entra a la UTA =  $40\text{ m}^3/\text{h}$ , con una temperatura  $T_s = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$  y una temperatura  $T_h = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Caudal de aire exterior que entra al climatizador =  $15\text{ m}^3/\text{h}$ , con temperatura  $T_s = 34\text{ }^{\circ}\text{C}$  y temperatura  $T_h = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Se pide que:

- Calcules el punto de mezcla de aire resultante y el punto de salida del aire de la UTA.
- Identifique qué tipo de procesos se producen.
- Indique las propiedades del aire que se encuentra en el local.

## 4.5. Cálculo de cargas térmicas de refrigeración

Cuando quiere climatizarse un local en verano, es necesario extraer el calor que pueda entrar en el por diversas causas, como puede ser por la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior, por los elementos que se encuentren dentro del local que aporten calor, etc. La suma de todos estos calores por unidad de tiempo es lo que llamamos *carga térmica* y sirve para determinar la potencia de los equipos a instalar.

Para valorar las cargas térmicas, los datos de partida serán los siguientes:

**1. Condiciones exteriores.** Datos de la localidad:

- Temperatura exterior de bulbo seco ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- Temperatura exterior de bulbo húmedo ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- Humedad relativa.
- Altitud.
- Latitud.
- Oscilación térmica diaria de la temperatura (OMD).
- Oscilación térmica media anual (OMA).

La oscilación media diaria de temperatura (OMD) es la diferencia entre las temperaturas medias mínimas y máximas durante el verano. La OMA es la diferencia térmica de temperaturas entre verano e invierno.

Para la toma de estos datos, pueden utilizarse las normas UNE o las tablas recogidas en las guías técnicas de ahorro y de eficiencia energética en climatización del IDAE (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía).



a)



b)

**Figura 4.32.** Recuperador rotativo (a) y de flujos cruzados (b)

Tabla 4.1. Temperaturas de las guías del IDAE para el cálculo de cargas térmicas de refrigeración

Ubicación	Temperatura seca (°C)	Temperatura húmeda (°C)	OMD (°C)	OMA (°C)
A Coruña	23,0	19,2	10,8	21,6
Álava	27,9	20,9	20,0	36,4
Albacete	33,0	19,3	18,8	40,4
Alicante	30,2	23,1	11,8	29,2
Almería	30,8	21,2	11,7	27,9
Asturias	24,2	20,5	13,6	28,0
Ávila	29,4	17,7	16,8	38,6
Badajoz	35,2	22,5	19,7	39,4
Baleares	31,0	23,2	15,6	33,5
Barcelona	28,9	24,1	9,2	29,7
Burgos	29,5	19,2	21,5	39,0
Cáceres	34,8	21,0	16,6	37,7
Cádiz	31,2	22,5	15,6	32,0
Cantabria	23,2	20,0	9,2	22,0
Castellón	30,4	23,5	11,4	29,6
Ciudad Real	34,8	21,4	17,8	40,2
Córdoba	36,8	23,4	20,2	39,9
Cuenca	31,7	18,7	16,9	39,1
Girona	30,6	21,9	17,2	37,2
Guipúzcoa	26,9	21,9	14,7	31,3
Granada	34,0	20,3	18,5	38,8
Guadalajara	30,2	19,4	22,3	43,6
Huesca	31,7	21,1	16,1	39,3
Jaén	33,9	22,5	13,0	35,2
La Rioja	31,2	21,3	19,2	38,2
Las Palmas	28,4	21,9	10,5	18,7
León	28,4	18,3	16,9	36,8
Lugo	26,0	20,1	20,3	34,6
Lleida	32,4	22,0	17,2	40,0
Madrid	34,0	20,6	18,6	40,4
Málaga	31,2	21,7	14,7	30,8
Melilla	29,0	21,4	9,8	24,6
Murcia	30,3	23,9	9,1	26,4
Navarra	30,6	22,4	17,9	36,9
Palencia	29,1	18,5	17,7	37,4
Ourense	31,7	22,1	21,5	38,5
Pontevedra	27,5	21,3	16,1	29,4
Salamanca	30,6	19,1	20,9	39,4
S. C. Tenerife	26,4	22,4	7,0	14,1

**Tabla 4.1.** Temperaturas de las guías del IDAE (continuación)

Ubicación	Temperatura seca (°C)	Temperatura húmeda (°C)	OMD (°C)	OMA (°C)
Segovia	30,6	17,9	16,0	38,6
Sevilla	35,6	23,2	19,2	38,4
Soria	29,3	18,3	19,6	38,8
Tarragona	29,7	21,8	13,2	33,2
Teruel	31,0	19,4	21,5	42,1
Toledo	35,1	20,6	17,6	40,5
Valencia	30,2	23,3	12,3	28,5
Valladolid	31,4	19,0	19,1	38,9
Vizcaya	26,8	20,6	16,3	31,4
Zamora	31,4	19,8	18,5	39,2
Zaragoza	32,8	21,5	17,1	39,2

**Tabla 4.2.** Humedades relativas medias de las guías del IDAE para el cálculo de cargas térmicas de refrigeración

Ubicación	Humedad relativa (%)	Ubicación	Humedad relativa (%)
A Coruña	77	Las Palmas	77,2
Álava	96	León	89,2
Albacete	70,4	Lugo	95,6
Alicante	78	Lleida	95,5
Almería	67	Madrid	69
Asturias	89	Málaga	81
Ávila	85,3	Melilla	80
Badajoz	92	Murcia	80
Baleares	80	Navarra	87
Barcelona	64	Palencia	85
Burgos	91,6	Ourense	95
Cáceres	84	Pontevedra	78
Cádiz	78	Salamanca	94,6
Cantabria	81	S.C.Tenerife	70
Castellón	64	Segovia	85,1
Ciudad Real	89	Sevilla	79,4
Córdoba	90	Soria	84,2
Cuenca	78,9	Tarragona	83
Girona	86	Teruel	94
Guipúzcoa	90	Toledo	82
Granada	84	Valencia	73,1
Guadalajara	91	Valladolid	89
Huesca	86,3	Vizcaya	89
Jaén	74,7	Zamora	94,6
La Rioja	93	Zaragoza	89

### RECUERDA

Existen cargas térmicas internas y externas. Las externas son debidas a la entrada o a la salida de calor a través de las paredes o de los cerramientos, de las ventanas, de la radiación, de las infiltraciones, de la ventilación o de otras causas. Las internas son debidas al calor de las personas, a la iluminación, etc. También podemos clasificarlas como cargas térmicas latentes y sensibles. Las cargas latentes son las que producen variaciones en la humedad y, por el contrario, las sensibles producen variaciones en la temperatura.

Las tablas indican las condiciones más desfavorables a las 15 horas solares de los meses de julio y de agosto. En caso de tener que corregirlos por ser distinta hora o fecha, se adjuntan tablas.

2. **Condiciones interiores.** Vienen recogidas en el RITE. Nos indican los valores de temperatura y de humedad relativa para verano e invierno. En el caso de la refrigeración, tan solo nos interesan las condiciones de verano, que son:

- Temperatura: entre 23 y 25 °C.
- Humedad relativa: entre el 45 y el 60 %.

3. **Condiciones del local.** También es necesario conocer las características constructivas y de funcionalidad del local, tales como:

- Materiales constructivos.
- Orientación de las paredes.
- Ocupación.
- Iluminación y/o maquinaria si hubiere.
- Horario de funcionamiento.
- Renovaciones de aire.

A partir de las anteriores condiciones, pueden calcularse las cargas térmicas, que serán las siguientes:

- A través de los cerramientos.
- A través de cristales (ventanas, lucernarios o claraboyas).
- Por ocupación de personas en el local.
- Por iluminación y/o maquinaria.
- Por infiltraciones del aire.

## 4.5.1. Cargas térmicas a través de cerramientos

El calor que se transmite a través de las paredes, suelos y techos del local (siendo cerramientos exteriores si están en contacto con el aire de la calle e interiores si dan a otro

local) puede ser por radiación, conducción o convección como veremos a continuación:

- **Radiación y transmisión en cerramientos exteriores.** Se trata del calor que llega a través de la radiación solar y que se transmite a través de las paredes, de los suelos y de los techos del local a climatizar. Se trata de calor sensible puesto que es debido a un incremento de la temperatura. Se calcula a partir de la fórmula siguiente:

$$Q_{\text{cerramiento exterior}} = K \times S \times DTE$$

Donde  $K$  es el coeficiente de transmisión del cerramiento, pudiendo ser pared, suelo o techo  $\left(\frac{W}{m^2 \times K}\right)$ ,  $S$  es la superficie del cerramiento ( $m^2$ ) y  $DTE$  es la diferencia térmica equivalente (sus valores son en función de la orientación, la densidad y la hora solar. La hora solar será la hora del día para la que se hace el cálculo. Se trata de elegir la hora en la que la carga térmica sea más alta. Como, a priori, no puede saberse con exactitud, normalmente, se elige la que suponemos que va resultar más desfavorable, las 15 horas).

- **Transmisión en cerramientos interiores.** Al igual que el anterior, se trata de calor sensible porque se debe al incremento de temperatura. Se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$Q_{\text{cerramiento interior}} = K \times S \times \Delta T$$

Siendo  $K$  el coeficiente de transmisión del cerramiento, que puede ser pared, suelo o techo ( $W/m^2 \times K$ ),  $S$  la superficie del cerramiento ( $m^2$ ) y  $\Delta T$  el incremento de temperatura entre el interior y el exterior ( $K$ ).

## 4.5.2. Cargas térmicas a través de cristales

Las persianas, cortinas, lamas o pantallas atenúan la radiación solar que llega a los vidrios. Las persianas o toldos exteriores son mejores que los interiores porque reflejan y disipan el calor al exterior.

- **Radiación solar en superficies acristaladas.** Es el calor que llega por radiación a las superficies acristaladas. Se calcula de la siguiente forma:

$$Q_{\text{radiación vidrio}} = S \times R \times F$$

Siendo  $S$  la superficie acristalada ( $m^2$ ),  $R$  la radiación solar unitaria ( $W/m^2$ ) y  $F$  el factor de corrección (en caso de tener vidrios con características o condiciones particulares).

- **Transmisión en superficies acristaladas.** Se trata de una carga sensible que se produce por transmisión de calor por conducción a través del cristal. Se calcula a través de la fórmula:

$$Q_{\text{transmisión vidrio}} = K \times S \times \Delta T$$

Donde  $K$  es el coeficiente de transmisión del vidrio, que puede ser pared, suelo o techo ( $W/m^2 \times K$ ),  $S$  es la superficie del vidrio ( $m^2$ ) y  $\Delta T$  es el incremento de temperatura entre el interior y el exterior ( $K$ ).

### 4.5.3. Cargas térmicas por ocupación de personas en el local

Las personas aportan calor latente a través de los procesos de respiración y de transpiración y calor sensible debido a las variaciones de temperatura. Por tanto, debemos calcular ambos:

- **Calor latente por ocupación.** Se calcula a partir de la fórmula:

$$Q_{\text{latente ocupación}} = N \times Q_{\text{latente}}$$

Siendo  $N$  el número de personas que ocupan el local y  $Q_{\text{latente}}$  el calor latente unitario producido por las personas ( $W$ ).

- **Calor sensible por ocupación.** Se calcula a partir de la fórmula:

$$Q_{\text{sensible ocupación}} = N \times Q_{\text{sensible}}$$

Siendo  $N$  el número de personas que ocupan el local y  $Q_{\text{sensible}}$  el calor sensible unitario producido por las personas ( $W$ ).

### 4.5.4. Cargas térmicas por iluminación y/o maquinaria

La iluminación es una fuente de calor sensible. El calor se transmite por conducción, convección y radiación. Se calcula a partir de la potencia eléctrica y depende del tipo de lámpara que tengamos:

- **Para lámparas incandescentes.**

$$Q_{\text{iluminación incandescente}} = P_{\text{incandescente}} \times N_{\text{incandescente}} \times 0,86$$

Siendo  $P_{\text{incandescente}}$  la potencia eléctrica de las lámparas incandescentes ( $W$ ) y  $N_{\text{incandescente}}$  el número de lámparas incandescentes.

- **Para lámparas fluorescentes.**

$$Q_{\text{iluminación fluorescente}} = P_{\text{fluorescente}} \times N_{\text{fluorescente}} \times 1,25$$

Siendo  $P_{\text{fluorescente}}$  la potencia eléctrica de las lámparas fluorescentes ( $W$ ) y  $N_{\text{fluorescente}}$  el número de lámparas fluorescentes.

En caso de tener motores eléctricos u otras posibles fuentes de calor, también deberán añadirse al cálculo. Para el caso concreto de **motores eléctricos**, el cálculo se hace a partir de la siguiente fórmula:

$$Q_{\text{motor}} = P_{\text{motor}} \times (1 - \text{rendimiento motor})$$

Siendo  $P_{\text{motor}}$  la potencia eléctrica del motor ( $W$ ).

### 4.5.5. Cargas térmicas por ventilación e infiltraciones del aire

Al igual que las personas, las cargas térmicas por ventilación e infiltraciones pueden ser cargas latentes y cargas sensibles:

- **Calor latente por infiltraciones del aire.** Se calcula a partir de la fórmula:

$$Q_{\text{latente infiltraciones}} = \text{caudal} \times \Delta W \times 0,72$$

Siendo *caudal* el caudal de aire nuevo que entra ( $m^3$ ) y  $\Delta W$  el incremento de humedades absolutas interior y exterior ( $g/kg$ ), es decir,  $\Delta W = W_e - W_i$ .

- **Calor sensible por infiltraciones del aire.** Se calcula a partir de la fórmula:

$$Q_{\text{sensible infiltraciones}} = \text{caudal} \times \Delta T \times 0,35$$

Siendo *caudal* el caudal de aire nuevo que entra ( $m^3$ ) y  $\Delta W$  el incremento de temperaturas interior y exterior ( $g/kg$ ),  $\Delta T = T_e - T_i$ .

### 4.5.6. Cargas térmicas totales

El total de cargas será la suma de todas las calculadas hasta ese momento.

**Tabla 4.3.** Resumen de cargas térmicas

Cargas térmicas		Sensibles	Latentes
A través de cerramientos.	Radiación y transmisión en cerramientos exteriores.	SÍ	NO
	Transmisión en cerramientos interiores.	SÍ	NO
A través de cristales.	Radiación solar en superficies acristaladas.	SÍ	NO
	Transmisión en superficies acristaladas.	SÍ	NO
Por ocupación de personas en el local.		SÍ	SÍ
Por iluminación y/o maquinaria.		SÍ	NO
Por ventilación e infiltraciones de aire.		SÍ	SÍ

- La psicometría se ocupa del estudio de las propiedades del aire húmedo. Las propiedades del aire húmedo se representan en el diagrama psicométrico. Estas propiedades son las siguientes: humedad absoluta o específica ( $W$ ), humedad relativa ( $H_r$ ), temperatura de bulbo seco ( $T_s$ ), temperatura de bulbo húmedo ( $T_h$ ), temperatura de rocío ( $T_r$ ), volumen específico ( $V_{esp}$ ), entalpía del aire húmedo ( $h$ ) y factor de calor sensible (FCS).
- Para conseguir que el aire alcance las condiciones de confort deseadas, debemos someterlo a distintos tratamientos que permitirán transformar las propiedades del aire húmedo. Estos tratamientos son los siguientes: mezcla de dos caudales de aire húmedo, calentamiento sensible, enfriamiento sensible, humidificación/deshumidificación sin variación de temperatura, humidificación sin aporte o retirada de calor, humidificación con aporte o retirada de calor.
- En las Unidades de Tratamiento de Aire (UTA), se llevan a cabo distintos procesos para tratar el aire con el objetivo de obtener un volumen de aire con las condiciones deseadas de temperatura y de humedad.
- Una UTA puede estar compuesta por: la caja de mezcla, la compuerta de admisión aire exterior, la compuerta de retorno de aire, la batería de enfriamiento, la batería de calentamiento, la batería de humidificación, el filtro y la compuerta de aire de impulsión. La combinación de varias de las anteriores etapas permite adaptar la UTA a las necesidades concretas del local a climatizar.
- El enfriamiento gratuito o *free-cooling* consiste en poder variar el caudal de aire de entrada exterior de una UTA mediante compuertas motorizadas de tal forma que, dependiendo de las condiciones del aire exterior, permitamos entrar un mayor o menor caudal de aire en la UTA.
- Los recuperadores entálpicos permiten recuperar energía del aire de expulsión del local antes de que llegue a la calle. Para ello, cruzan los caudales del aire de expulsión y del aire exterior sin que se mezclen, pero habiendo intercambiado su energía.
- La carga térmica es el calor por unidad de tiempo que entra en el local y sirve para determinar la potencia de los equipos a instalar de forma que se alcancen las condiciones de temperatura y de humedad deseadas en el local.
- A partir de las condiciones interiores, exteriores y del local, se calculan las cargas térmicas de refrigeración, que serán las siguientes:
  - **A través de los cerramientos.** Radiación y transmisión en cerramientos exteriores y transmisión en cerramientos interiores.
  - **A través de cristales (ventanas, lucernarios o claraboyas).** Radiación solar en superficies acristaladas y transmisión en superficies acristaladas.
  - **Por ocupación de personas en el local.** Calor latente por ocupación y calor sensible por ocupación.
  - **Por iluminación y/o maquinaria.** Para lámparas incandescentes y para lámparas fluorescentes.
  - **Por infiltraciones del aire.** Calor latente por infiltraciones del aire y calor sensible por infiltraciones del aire.

## ■ Actividades de comprobación

- 4.1.** El nombre del diagrama que determina las condiciones del aire es :
- Diagrama de Mollier.
  - Diagrama psicométrico.
  - Diagrama p-h.
  - Diagrama entálpico.
- 4.2.** La densidad del aire a 15 °C y a una humedad relativa del 55 % es:
- De 1,22 kg/m<sup>3</sup>.
  - De 0,82 kg/m<sup>3</sup>.
  - De 1 kg/m<sup>3</sup>.
  - De 2,3 kg/m<sup>3</sup>.
- 4.3.** El volumen específico de una masa de aire a 21 °C y de un humedad relativa del 45 % es:
- De 0,835 m<sup>3</sup>/kg.
  - De 0,9 m<sup>3</sup>/kg.
  - De 1,20 m<sup>3</sup>/kg.
  - De 2,4 m<sup>3</sup>/kg.
- 4.4.** Señala la afirmación incorrecta. En el proceso de calentamiento sensible:
- Mantenemos constante la humedad absoluta.
  - Se aumenta la temperatura de un caudal de aire sin quitar o añadir humedad.
  - Se produce un aumento de la entalpía.
  - El volumen específico se mantiene constante.
- 4.5.** El psicrómetro es un aparato que sirve para medir:
- La temperatura de bulbo seco.
  - La temperatura de bulbo húmedo.
  - La humedad relativa.
  - La humedad absoluta.
- 4.6.** El proceso en el que aumenta el contenido de humedad sin variar la temperatura seca del aire es:
- El enfriamiento sensible.
  - La humidificación sin variación de entalpía.
  - La deshumidificación sin variación de temperatura.
  - La humidificación sin variación de temperatura.
- 4.7.** Señala la respuesta correcta:
- En la caja de mezcla de una UTA, se lleva a cabo un aumento de la humedad del aire.
  - El caudal de salida de la caja de mezcla de una UTA es el caudal de entrada exterior menos el caudal de retorno.
  - La temperatura de salida de la caja de mezcla de una UTA es siempre la temperatura del aire de retorno del local.
  - El caudal resultante en una caja de mezcla de una UTA es la suma del aire exterior más el de retorno.
- 4.8.** Para saber si es necesario colocar un recuperador entálpico en una UTA, es necesario saber:
- La potencia necesaria.
  - La temperatura del aire exterior.
  - La temperatura del aire del local.
  - Ninguna es correcta.
- 4.9.** Para realizar el cálculo de cargas térmicas de un local, es necesario conocer:
- Las condiciones de temperatura y de humedad interiores del local.
  - Las condiciones interiores, exteriores y las características del local.
  - Las condiciones de humedad exteriores.
  - Ninguna es correcta.
- 4.10.** La colocación de persianas hace que las cargas térmicas a través de cristales:
- Aumente.
  - Disminuya.
  - No afecta a la carga térmica.
  - Ninguna es correcta.

## ■ Actividades de aplicación

- 4.11.** Calcula la cantidad de agua que hay que añadir para pasar aire atmosférico de 2 °C y al 60 % de humedad a 26 °C y al 40 % de humedad.
- 4.12.** A una caja de mezclas de un equipo de acondicionamiento de aire, llegan dos caudales de aire, uno a 20 °C y al 60 % de humedad relativa y otro a 18 °C y al 55 %

de humedad relativa. Sabiendo que los caudales son de 700 m<sup>3</sup>/h y de 1.500 m<sup>3</sup>/h, respectivamente. Determina los siguientes valores para la mezcla resultante: temperatura seca, temperatura húmeda, humedad absoluta y humedad relativa.

**4.13.** Por la parte superior de una torre de refrigeración, entran 50 m<sup>3</sup>/h de agua a 45 °C y se desea que el agua de salida descienda su temperatura en 25 °C. Para ello, el aire que entra por la parte inferior está a 25 °C y al 50 % de humedad y saldrá por la parte superior saturado a 30 °C.

Averigua la densidad del aire a la entrada y a la salida.

**4.14.** En un proceso típico de acondicionamiento de aire, se requiere que, dentro del recinto, el aire llegue a las siguientes condiciones: de 11 °C de temperatura seca y del 90 % de humedad relativa. El ventilador del equipo tiene una capacidad para impulsar 60 m<sup>3</sup>/min. El aire de retorno sale del recinto con una temperatura seca de 27 °C y una temperatura húmeda de 18 °C. El aire exterior tiene unas condiciones de 34 °C de temperatura seca y 24 °C de temperatura húmeda. Para obtener las condiciones deseadas en el recinto, la mezcla de aire debe llegar al equipo con una temperatura seca de 30 °C.

- Indica qué cantidad de aire de retorno debe recircularse.

- Establece qué cantidad de aire exterior debe mezclarse con el aire de retorno.

**4.15.** Explica los procesos de tratamiento del aire que existen.

**4.16.** A un secador de alimentos, llega aire a una temperatura de 35 °C y una temperatura de rocío de 15,6 °C. Usa el diagrama psicrométrico y determina: la humedad absoluta, la humedad relativa y el volumen específico.

**4.17.** Un flujo de 10 m<sup>3</sup>/s de aire húmedo a 30 °C y al 80 % de humedad relativa se calienta hasta 50 °C de tal forma que, durante su calentamiento, la humedad absoluta permanece constante. Usa el diagrama psicrométrico y calcula la cantidad de energía térmica requerida para efectuar el calentamiento.

**4.18.** Busca fabricantes de unidades de tratamiento de aire e indica las baterías que les colocan (frío, calor, humidificación, etc.).

**4.19.** Un caudal de 500 m<sup>3</sup>/s de aire a 50 °C y una temperatura de bulbo húmedo de 30 °C se mezcla con aire exterior que está a 15 °C y al 50 % de humedad relativa. La mezcla resultante tiene una temperatura de 25 °C.

Calcula la humedad absoluta de la mezcla resultante, el caudal de aire exterior y el caudal de mezcla resultante.

## Actividades de ampliación

**4.20.** Las unidades de tratamiento de aire son climatizadores destinados a tratar grandes caudales de aire y son empleados en multitud de aplicaciones, como puede ser en gimnasios, en hospitales, etc. En el caso concreto de los hospitales, la normativa nos indica los caudales mínimos de renovación de aire exterior dependiendo del uso del local, como podemos ver a continuación:

Área	Tipo de local	Caudal mínimo de aire exterior m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> )	T° mín. (°C)	T° máx. (°C)	Hr (%)	Presión sonora máxima dB(A)
Quirófanos	Quirófanos tipo A y B, incluso accidentes y partos.	Se recomienda que la totalidad del aire impulsado sea del exterior.	22	26	45-55	40
	Pasillos, almacén, material estéril, entrada y salida.	15	22	26	45-55	40
	Sala despertar.	15	22	26	45-55	35
Partos	Paritorios.	15	24	26	45-55	40
	Pasillos.	10	24	26	45-55	40

Averigua cuál es el rango de valores entre los que debe estar el contenido de humedad en cada uno de los locales de la tabla.

**4.21.** Los filtros utilizados en los climatizadores tienen diferentes clases de filtración (F6, F7, F8, etc.) en función de la calidad de aire exterior y de la calidad de aire interior exigida. Busca en el RITE en qué situaciones se emplean cada una de las clases de filtración y realiza una tabla resumen con los datos obtenidos.



# Máquinas frigoríficas. Ciclo de compresión de vapor



Los sistemas de producción de frío se basan en ciclos termodinámicos o procesos físicos en los que tiene lugar un transporte de energía térmica entre una zona de alta temperatura y una zona de baja temperatura. El foco calorífico suele ser generalmente el aire ambiente o una masa de agua. Las instalaciones de producción de frío en la actualidad utilizan el ciclo de compresión de vapor o el ciclo de absorción, aunque la mayor parte de las instalaciones utilizan el ciclo de compresión de vapor, por lo que nos centraremos en su estudio.

# 5

## Contenidos

- 5.1. El ciclo de compresión de vapor
- 5.2. ¿Qué es la potencia frigorífica, la producción frigorífica y el COP?
- 5.3. El recalentamiento
- 5.4. El subenfriamiento
- 5.5. El ciclo de compresión de vapor real
- 5.6. El sistema de refrigeración por absorción
- Resumen
- Actividades finales

## Objetivos

- Conocer la finalidad de los cuatro elementos básicos del circuito.
- Conocer el trazado del circuito frigorífico ideal.
- Aplicar la primera ley de la termodinámica a los elementos básicos de un circuito frigorífico.
- Saber la misión y cómo afecta al circuito frigorífico el recalentamiento.
- Saber la misión y cómo afecta al circuito frigorífico el subenfriamiento.
- Conocer el trazado del circuito frigorífico real.

## 5.1. El ciclo de compresión de vapor

La refrigeración es el proceso consistente en producir frío. Esto se consigue mediante la extracción del calor de un lugar y trasladándolo a otro por medio de sustancias que tienen las propiedades adecuadas para conseguirlo.

En la actualidad, el sistema más utilizado para la extracción de frío es el sistema de refrigeración por compresión de vapor, que es el que vamos a estudiar más en detalle, pero también en esta unidad veremos otro sistema llamado *sistema de absorción*.

### 5.1.1. Elementos fundamentales del ciclo de compresión de vapor

En el ciclo de compresión de vapor, existen cuatro elementos fundamentales y a continuación, vamos a ver la función de cada uno de ellos:

1. **Compresor.** Aspira el refrigerante en forma de vapor saturado o ligeramente sobrecalentado a baja presión y a baja temperatura y lo expulsa hacia el condensador como vapor sobrecalentado a alta presión y a alta temperatura. Esto se consigue gracias al trabajo realizado por un elemento motriz que, normalmente, es un motor eléctrico.
2. **Condensador.** El vapor procedente de la descarga del compresor cede calor al medio exterior, de tal forma que, a la salida del condensador, tenemos refrigerante en estado líquido. Se ha producido cesión de calor en forma de calor sensible si la entrada era como vapor sobrecalentado y después, durante el cambio de estado, en forma de calor latente.
3. **Expansor.** El líquido procedente del condensador a alta presión y a alta temperatura pasa rápidamente a

ser mezcla de líquido-vapor a baja presión y a baja temperatura gracias a una restricción en el paso de refrigerante.

4. **Evaporador.** El refrigerante en estado mezcla líquido-vapor procedente del expansor va absorbiendo el calor del medio a refrigerar (aire o agua), de tal forma que se completa el cambio de estado y, a la salida del mismo, tenemos vapor saturado o ligeramente sobrecalentado, que será aspirado por el compresor y así se cerrará el ciclo térmico de compresión de vapor.

### 5.1.2. Ciclo frigorífico de compresión de vapor ideal

Para realizar el trazado del ciclo frigorífico de compresión de vapor, utilizaremos un diagrama p-h del refrigerante R134a.

#### RECUERDA

Cada fluido refrigerante tiene un diagrama de presión-entalpía (p-h) o de Mollier propio. No puede utilizarse el diagrama de un refrigerante para otro.

A continuación, pasaremos a analizar aspectos importantes del comportamiento del refrigerante en cada uno de los elementos:

1. Para el **compresor**, consideraremos una **compresión ideal y adiabática**, es decir, que la cantidad de calor que va a cederse al exterior va a ser nula ( $Q = 0$  y  $S_{\text{ent comp}} = S_{\text{salida comp}}$ ), aunque, en realidad, sí que se tiene una variación de calor, como ya veremos en el circuito frigorífico real más adelante, pero puede ser despreciada ya que, comparada con el trabajo, es muy pequeña.

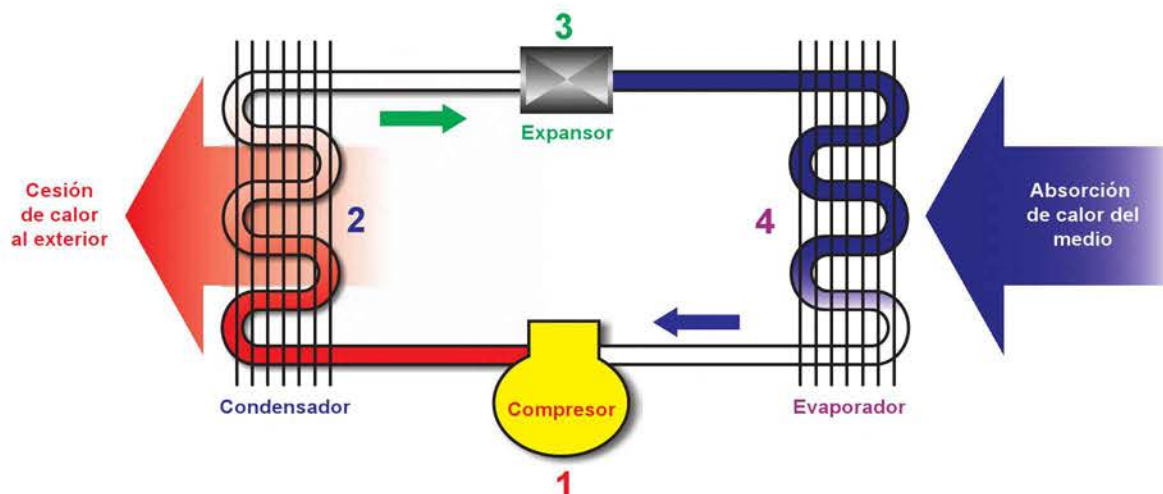


Figura 5.1. Ciclo de compresión de vapor

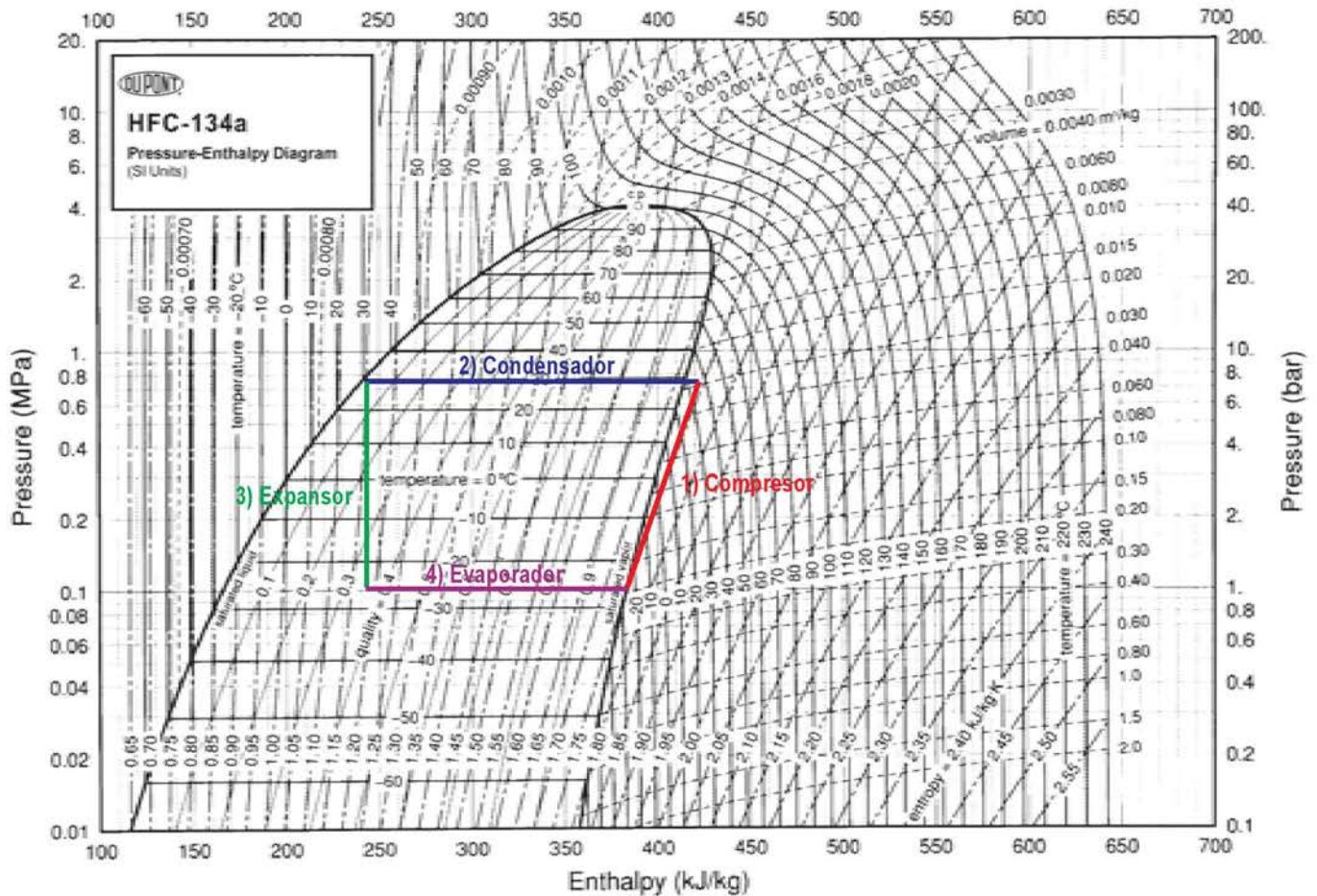


Figura 5.2. Representación del ciclo de compresión de vapor sobre el diagrama de Mollier (cortesía de Dupont)

Recordamos que la primera ley de la termodinámica nos dice:

$$Q + W = M \times (h_{\text{sal}} - h_{\text{ent}})$$

Y, teniendo en cuenta que, para el compresor, consideramos que  $Q = 0$ , obtenemos:

$$W = M \times (h_{\text{sal}} - h_{\text{ent}})$$

En estas condiciones ideales,  $W$  será el trabajo por unidad de tiempo que tiene que realizar el motor eléctrico del compresor sobre el refrigerante moviendo los pistones del compresor y permitiendo suministrar energía al refrigerante para que eleve su presión y su temperatura. En condiciones reales, el trabajo por unidad de tiempo que debe desarrollar el compresor será mayor.

2. Para el **condensador**, consideramos que, durante el proceso de condensación, la **presión no varía** ya que, para el ciclo de compresión ideal, consideramos que la circulación del refrigerante por las tuberías no da lugar a pérdidas de carga o de presión. Por lo tanto, consideraremos que la presión a la entrada del condensador será la misma que a la salida de este.

El refrigerante procedente del compresor llega al condensador en estado de vapor sobrecalentado (alta presión y alta temperatura). En el condensador, el refrigerante cede calor al medio exterior y disminuye su temperatura a presión constante hasta que llega a estado de vapor saturado. Después, el refrigerante empieza a condensarse a presión y a temperatura constante hasta que todo el refrigerante en estado de vapor se convierte en líquido. Posteriormente, puede producirse un enfriamiento del refrigerante en estado líquido. Por lo tanto, tenemos:

- **Un tramo de enfriamiento.** Desde el estado inicial (vapor sobrecalentado) hasta que el refrigerante llega a estado de vapor saturado. Este proceso tiene lugar a presión constante y el refrigerante experimenta una disminución de su temperatura.
- **Un tramo de condensación.** Desde el estado de vapor saturado hasta el estado de líquido saturado. Este proceso tiene lugar a presión y a temperatura constante.

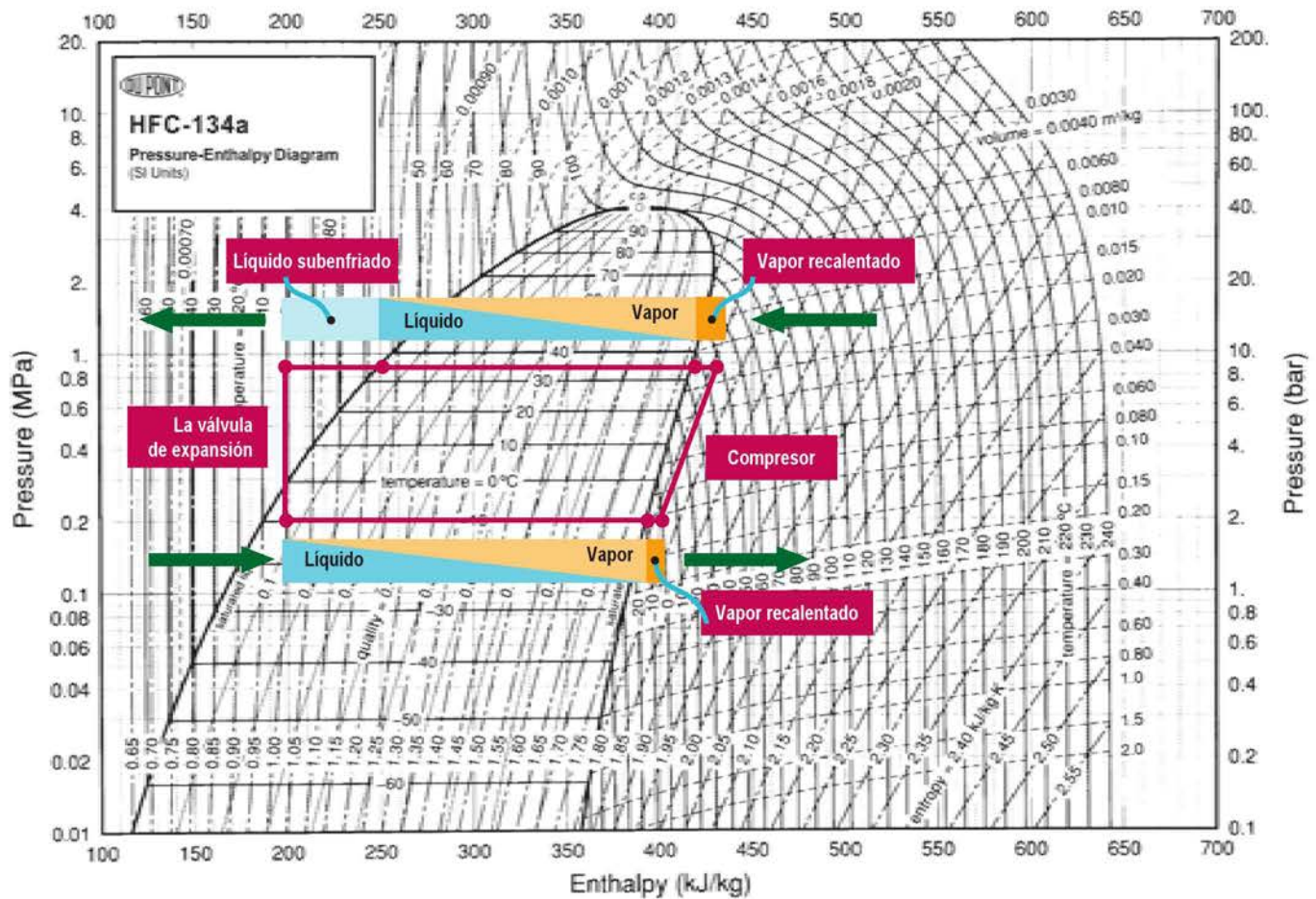


Figura 5.3. Representación de los tramos de calor en el evaporador y condensador (cortesía de Dupont)

- **Un tramo de subenfriamiento.** Desde el estado de líquido saturado hasta el estado final (líquido subenfriado). Es un proceso a presión constante y la temperatura disminuye.

Recordamos que la primera ley de la termodinámica nos dice:

$$Q + W = M \times (h_{\text{sal}} - h_{\text{ent}})$$

Y, teniendo en cuenta que, para el condensador, consideramos que  $W = 0$  porque no se realiza trabajo por unidad de tiempo, obtenemos:

$$Q = M \times (h_{\text{sal}} - h_{\text{ent}})$$

En estas condiciones ideales,  $Q$  será el calor cedido por el refrigerante al medio exterior (normalmente, agua o aire) por unidad de tiempo y podremos calcularlo a partir de las entalpías de entrada y de salida del condensador.

3. Para la **válvula de expansión**, consideramos que el flujo de refrigerante a través de ella es **adiabático**, es decir, que la cantidad de calor que va a intercambiarse con el exterior va a ser nula ( $Q = 0$ ). Esto se debe a que tanto el tiempo que transcurre mientras el refrigerante atraviesa la válvula como la superficie de intercambio de calor son tan ínfimos que no es necesario tenerlos en cuenta. Por otra parte, tampoco se realizará ningún trabajo por unidad de tiempo en la válvula de expansión, por lo tanto,  $W = 0$ .

Lo que ocurre en la válvula de expansión es que, al pasar por el orificio calibrado de la válvula (restricción), se produce una caída de presión en el refrigerante, que pasa de estado líquido (viene del condensador) a estado de mezcla líquido-vapor, y una disminución de su temperatura.

Recordamos que la primera ley de la termodinámica nos dice:

$$Q + W = M \times (h_{\text{sal}} - h_{\text{ent}})$$

Y, teniendo en cuenta que, para el dispositivo de expansión, consideramos que  $Q = 0$  y  $W = 0$ , obtenemos:

$$0 = M \times (h_{\text{sal}} - h_{\text{ent}}) \quad h_{\text{sal}} = h_{\text{ent}}$$

Por lo tanto, podremos decir que el paso de refrigerante por el dispositivo de expansión es un proceso isoentálpico ya que la entalpía de entrada a la válvula y la de salida son iguales.

4. Para el **evaporador**, consideramos que, durante el proceso de evaporación, la **presión no varía (igual que en el condensador)** porque, para el ciclo de compresión ideal la circulación del refrigerante por las tuberías de cobre del evaporador no da lugar a pérdidas de carga o de presión. Por lo tanto, consideraremos que no existe caída de presión en el evaporador.

El refrigerante procedente del dispositivo de expansión llega al evaporador en estado de mezcla líquido-vapor. En el evaporador, el refrigerante absorbe calor del medio a refrigerar a presión y a temperatura constantes (a la que ha entrado) y se produce la evaporación del refrigerante. A este calor que absorbe el refrigerante, lo llamamos *calor latente* ya que no se produce un aumento de la temperatura de este, sino que el calor se emplea para realizar el cambio

de estado. A la salida del evaporador, el refrigerante puede estar en estado de vapor saturado o seguir absorbiendo calor y salir como vapor sobrecalentado.

### SABÍAS QUE...

La refrigeración tiene un amplísimo campo en lo que respecta a la conservación de alimentos, de productos farmacéuticos y de materias para la industria y a los sistemas de acondicionamiento de aire y de calefacción, etc.

Recordamos que la primera ley de la termodinámica nos dice:

$$Q + W = M \times (h_{\text{sal}} - h_{\text{ent}})$$

Y, teniendo en cuenta que, para el evaporador consideramos que  $W = 0$  ya que no se realiza trabajo por unidad de tiempo, obtenemos:

$$Q = M \times (h_{\text{sal}} - h_{\text{ent}})$$

En estas condiciones ideales,  $Q$  será el calor absorbido por el refrigerante del local que queramos refrigerar por unidad de tiempo y podremos calcularlo a partir de las entalpías de entrada y de salida del evaporador.

### Actividad resuelta

- 5.1. En un circuito frigorífico que utiliza refrigerante R134a, tenemos un caudal-masa de refrigerante de 20 g/s que entra en el compresor en estado de vapor sobrecalentado a 0 °C y a 2 bar de presión y sale del compresor a 10 bar de presión. Suponiendo compresión ideal y adiabática y empleando el diagrama de Mollier, calcula:

- La entalpía específica a la entrada del compresor.
- La entalpía específica a la salida del compresor.
- El equivalente térmico del trabajo realizado por el compresor.
- La potencia desarrollada por el compresor.

#### Solución:

- En el diagrama de presión-entalpía para el refrigerante R134a, dibujamos el ciclo frigorífico con los datos que nos proporciona el problema. A continuación, buscamos el punto de entrada del compresor y hallamos su entalpía que, como podemos ver en el diagrama, es de 400 kJ/kg.

### RECUERDA

Las líneas que están en la zona de mezcla (entre la línea de líquido saturado y la de vapor saturado) son las líneas de calidad de la mezcla que representan el porcentaje de vapor de la mezcla líquido-vapor.

(continúa)

(continuación)

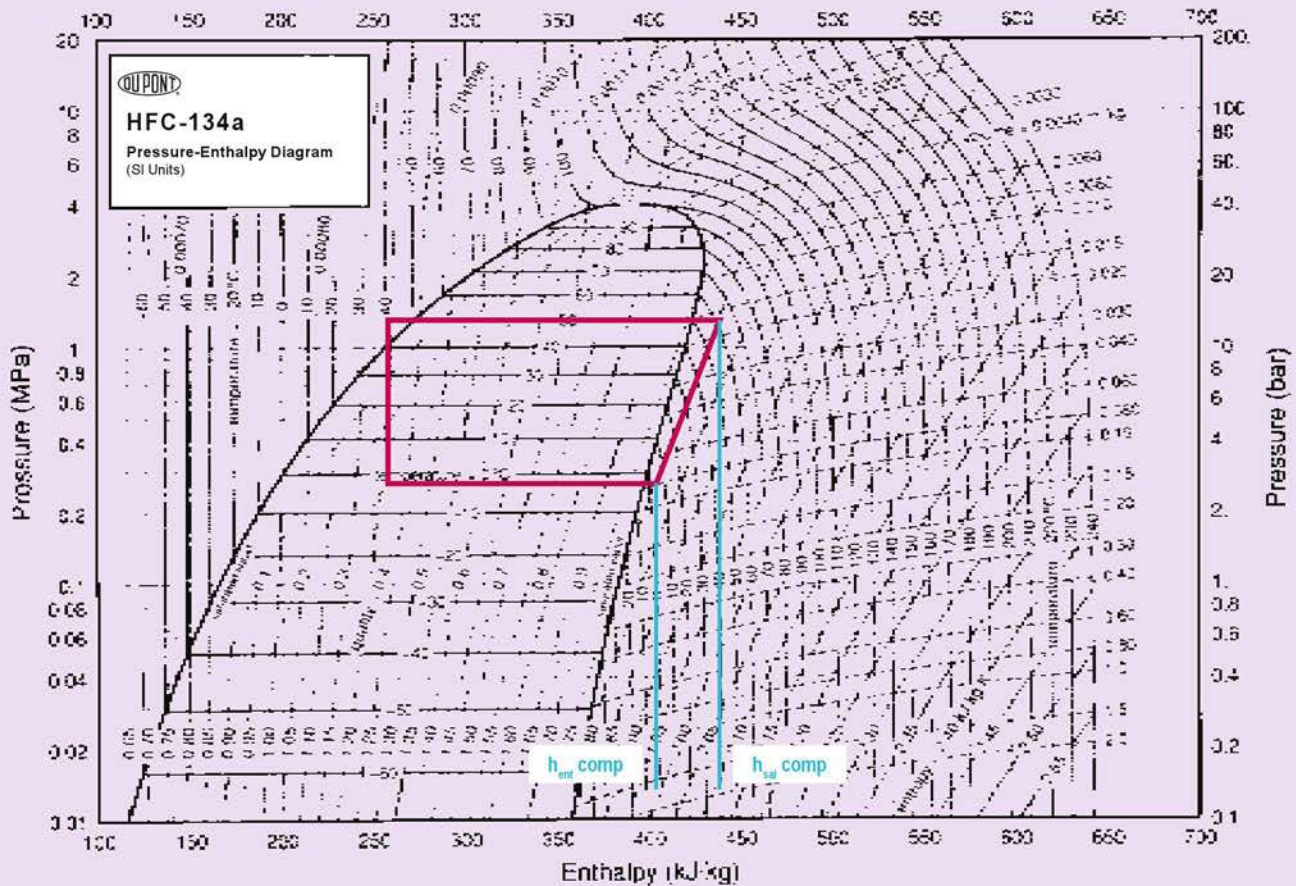


Figura 5.4. Representación de los puntos de entrada y de salida del compresor (cortesía de Dupont)

- De la misma forma, la entalpía de salida del compresor es de 440 kJ/kg.
- El compresor cuenta con un motor eléctrico que permite el movimiento para realizar la compresión del vapor. El equivalente térmico del trabajo que realiza el compresor es la diferencia de entalpía entre la entrada y la salida del compresor.

$$\Delta h = h_{sal\ comp} - h_{ent\ comp} = 440 - 400 = 40 \text{ kJ/kg}$$

- Para calcular la potencia desarrollada por el compresor, simplemente, tenemos que multiplicar el trabajo que realiza el compresor y el caudal de refrigerante ( $\dot{m}$ ):

$$\text{Potencia compresor} = \dot{m} \times (h_{sal} - h_{ent}) = 0,02 \text{ kg/s} \times (440 - 400) \text{ kJ/kg} = 0,8 \text{ kJ/s}$$

### Actividad propuesta

5.1. Por un circuito frigorífico, circula un caudal-masa de refrigerante R134a de 20 g/s que entra en el condensador en estado de vapor sobrecalentado a 47 °C y a 10 bar de presión absoluta y sale del condensador en estado de líquido saturado. Considerando que no hay pérdidas de carga, calcula:

- La temperatura de salida del condensador.
- La presión de salida del condensador.
- El calor cedido por el refrigerante al medio exterior (agua o aire) por unidad de tiempo en kW y en fg/h.

### Actividad propuesta

5.2. En un circuito frigorífico en el que se emplea R134a, la entrada de refrigerante a la válvula de expansión se realiza en estado de líquido saturado a 1,5 MPa de presión absoluta y, a la salida, el refrigerante tiene 0,1 MPa. Calcula:

- La calidad del refrigerante a la entrada y a la salida de la válvula de expansión.
- La calidad del refrigerante a la salida del evaporador.
- La temperatura de entrada y de salida de la válvula de expansión.
- La temperatura de entrada y de salida del evaporador.
- La presión a la entrada y a la salida del evaporador.

### SABÍAS QUE...

En 1984 Jacob Perkins, inventor e ingeniero americano, construyó la primera máquina comercial que utilizaba el ciclo de compresión de vapor. Era una máquina de producción de hielo.

## 5.2. ¿Qué es la potencia frigorífica, la producción frigorífica y el COP?

- **La potencia frigorífica ( $Q_{\text{frigorífica}}$ )**. Es la cantidad de calor a absorber del medio a refrigerar (local o sustancia) en la unidad de tiempo. Este valor será equivalente a la cantidad de calor que absorbe el evaporador ( $Q_{\text{evaporador}}$ ) y a las cargas térmicas del medio a refrigerar (local o sustancia).

$$Q_{\text{frigorífica}} = Q_{\text{cargas térmica}} = Q_{\text{evaporador}} = \dot{m} \times (h_{\text{sal}} - h_{\text{ent}}) \text{ kW, fg/h, Btu/h}$$

- **La producción frigorífica ( $q_{\text{frigorífica}}$ )**. Es la potencia frigorífica extraída del recinto a refrigerar por unidad de caudal máximo que recorre el refrigerante. También puede considerarse como la diferencia de entalpías de entrada y de salida del evaporador.

$$q_{\text{frigorífica}} = Q_{\text{frigorífica}} / \dot{m} = h_{\text{sal evapor}} - h_{\text{ent evapor}} \text{ kJ/kg}$$

- **El coeficiente de operación o de rendimiento frigorífico o de eficiencia energética (COP)**. Es la relación entre la energía en forma de cantidad de calor que hay que absorber del medio a refrigerar ( $Q_{\text{frigorífica}}$ ) y la energía que hay que entregar para extraer ese calor ( $W_{\text{compresor}}$ ).

$$\text{COP} = Q_{\text{frigorífica}} / W_{\text{compresor}} \text{ Adimensional}$$

El COP tendrá siempre un valor positivo, que puede ser mayor que la unidad.

## 5.3. El recalentamiento

Después del cambio de estado del refrigerante en el evaporador, puede producirse un recalentamiento o sobrecalentamiento de este antes de salir hacia el compresor. El recalentamiento será un aumento de temperatura (calor sensible) a presión constante, como puede verse en la Figura 5.5.

La pregunta que podríamos plantearnos es **¿qué misión tiene el recalentamiento?** Para responder, solo tenemos que plantearnos qué ocurriría si, a la salida del evaporador, tuviéramos parte del refrigerante en estado de mezcla de líquido-vapor, es decir, que no se hubiera completado el cambio de estado. La consecuencia en ese caso sería que llegaría refrigerante en estado líquido al compresor, (el llamado *golpe de líquido*) y provocaría efectos negativos sobre el compresor.

### RECUERDA

El recalentamiento se realiza para que no se produzca el temido golpe de líquido, es decir, para que al compresor no le llegue refrigerante en estado líquido.

Otra de las preguntas que podríamos plantearnos es **¿qué consecuencias tiene para el ciclo?**

- Aumentará el tamaño del compresor ya que el trabajo que deberá realizar será ligeramente mayor. Como consecuencia del aumento de temperatura, tenemos un aumento del volumen del vapor sobrecalentado a la entrada del compresor, por lo que la masa de refrigerante que puede recoger el compresor será menor y necesitará realizar más trabajo para conseguir la compresión del refrigerante sobrecalentado que si hubiese estado como vapor saturado.
- Aumentará la superficie de intercambio del condensador porque aumentará la potencia a disipar por este (en forma de calor latente) debido a que la temperatura a la salida del compresor y, por tanto, a la entrada del condensador será mayor.

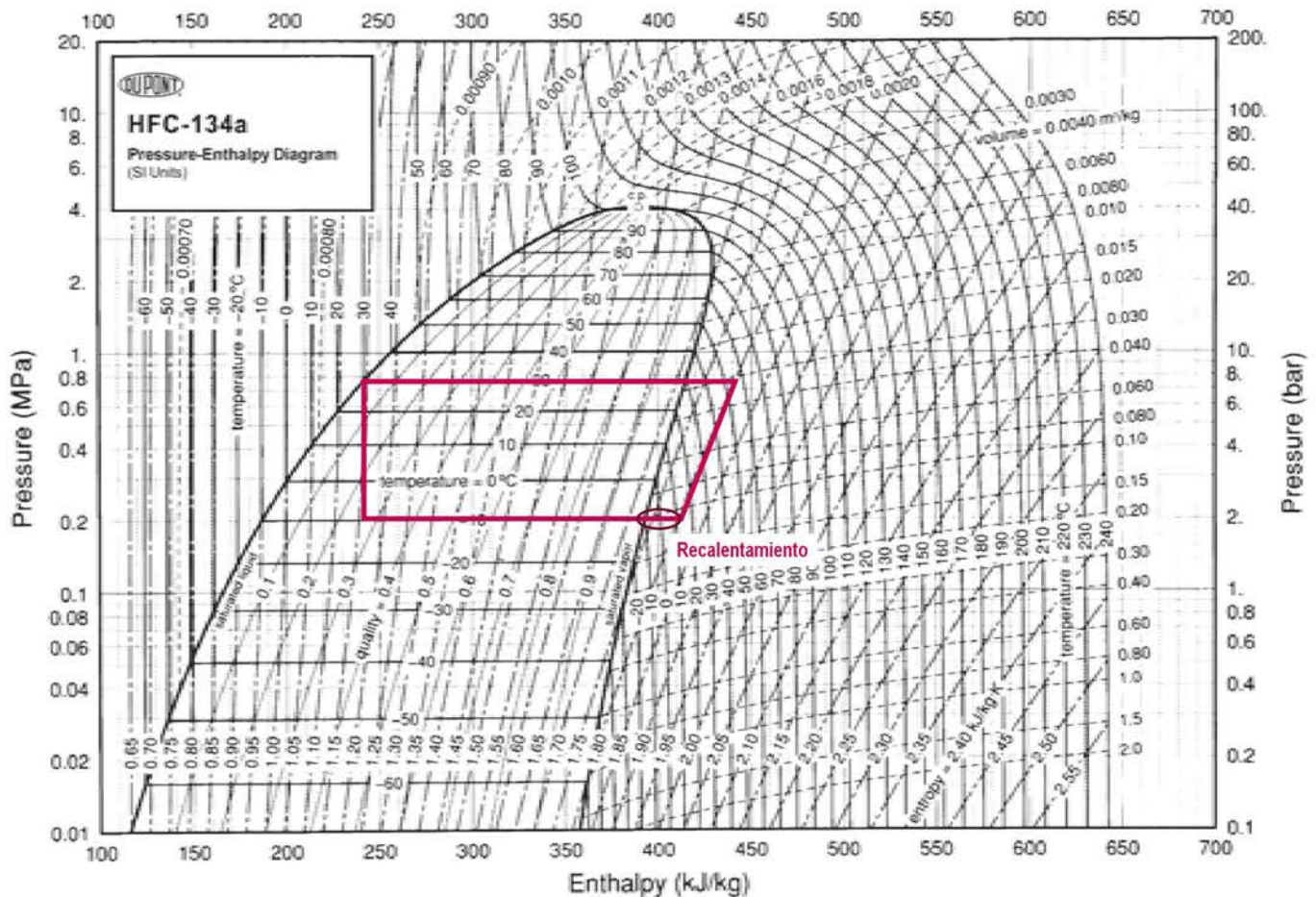


Figura 5.5. Ciclo de compresión ideal con recalentamiento (cortesía de Dupont)

- Disminuirá el COP y, por todo lo anterior, tendremos que tratar de tener el grado de recalentamiento adecuado para que no llegue refrigerante líquido al compresor, pero sin excedernos demasiado.

Sabemos que el recalentamiento se produce después del cambio de estado de líquido a vapor del refrigerante, pero **¿dónde se produce el recalentamiento?**

Si se produce dentro del espacio a refrigerar, lo llamaremos *por enfriamiento útil* ya que estamos contribuyendo a la extracción de calor del recinto.

Si el recalentamiento se produce fuera del espacio a refrigerar, es decir, en las tuberías de la línea de aspiración, lo llamaremos *por enfriamiento no útil*.

## 5.4. El subenfriamiento

Después del cambio de estado del refrigerante en el condensador, puede producirse un subenfriamiento, de tal forma

que el refrigerante que llegue al dispositivo de expansión llegará en estado de líquido subenfriado. El subenfriamiento será una disminución de la temperatura del refrigerante a presión constante, como puede apreciarse en la Figura 5.6.

Al igual que en el caso del recalentamiento, cabe preguntarse **¿cuál es la misión del subenfriamiento?** Para responder a esta pregunta, tendremos que observar la Figura 5.6. y ver cómo la entalpía de salida del evaporador ha disminuido y como, consecuencia de ello, la diferencia de entalpías entre la entrada y la salida del evaporador es mayor (se absorbe más calor), por lo tanto, la misión será que mejoramos el rendimiento del sistema porque el evaporador absorbe mayor cantidad de calor. La siguiente pregunta es **¿qué consecuencias tiene para el ciclo?**

### RECUERDA

El subenfriamiento se realiza para mejorar el rendimiento del circuito frigorífico al conseguir que se absorba mayor cantidad de calor en el evaporador.



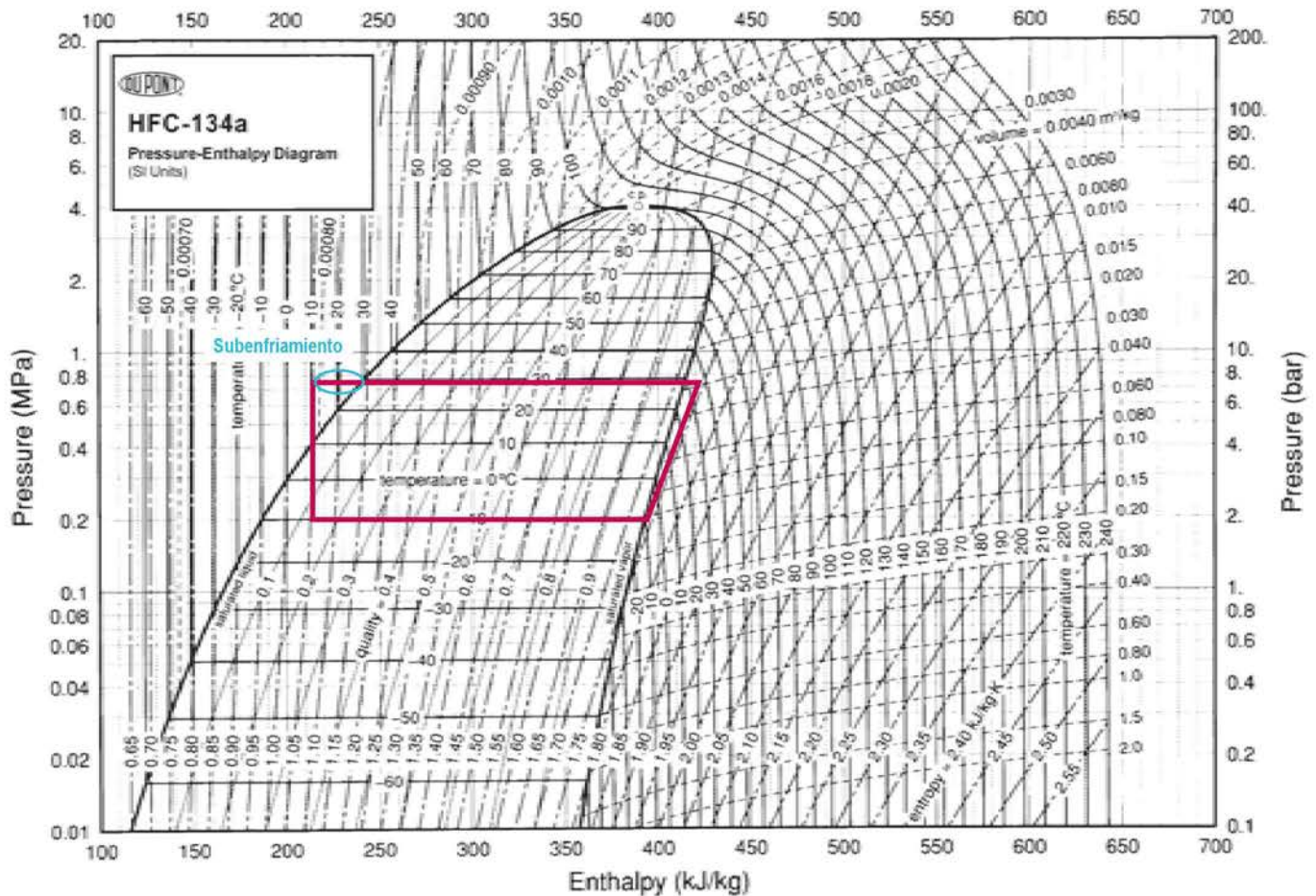


Figura 5.6. Ciclo de compresión ideal con subenfriamiento (cortesía de Dupont)

- Aumenta la producción frigorífica ( $q_{\text{frigorífica}}$ ) ya que, con la misma cantidad de refrigerante, en el caso de tener subenfriamiento, la cantidad de calor que se absorbe en el evaporador será mayor.
- Disminuirá el tamaño del compresor porque, si, con subenfriamiento, el refrigerante que pase por el evaporador absorbe mayor cantidad de calor, será necesaria menos masa-caudal de refrigerante para las mismas condiciones de enfriamiento (mismas cargas térmicas y misma potencia frigorífica). Como conclusión, al necesitar menos masa-caudal de refrigerante, el compresor necesita comprimir menos volumen de refrigerante y, por tanto, su tamaño será menor.
- Y la última y más importante consecuencia, aumentará el COP, es decir, mejoramos el rendimiento frigorífico del sistema.

La última de las preguntas que podríamos realizarnos es **¿dónde puede originarse el subenfriamiento?** Tenemos varios lugares en los que puede producirse el subenfriamiento:

- En el separador de líquido.
- En la tubería de unión del condensador y del dispositivo de expansión. El refrigerante que sale del condensador puede enfriarse porque la temperatura del medio exterior es menor que la del refrigerante.
- En un subenfriador.

### SABÍAS QUE...

La línea o tubería de aspiración es la que va desde el condensador a la entrada del compresor y, normalmente, se representa en color rojo.

La línea o tubería de descarga es la que va desde la salida del compresor hasta el evaporador y, normalmente, se representa en azul.

La línea de líquido es la que va desde la salida del evaporador hasta la entrada del condensador y, normalmente, se representa en color verde.

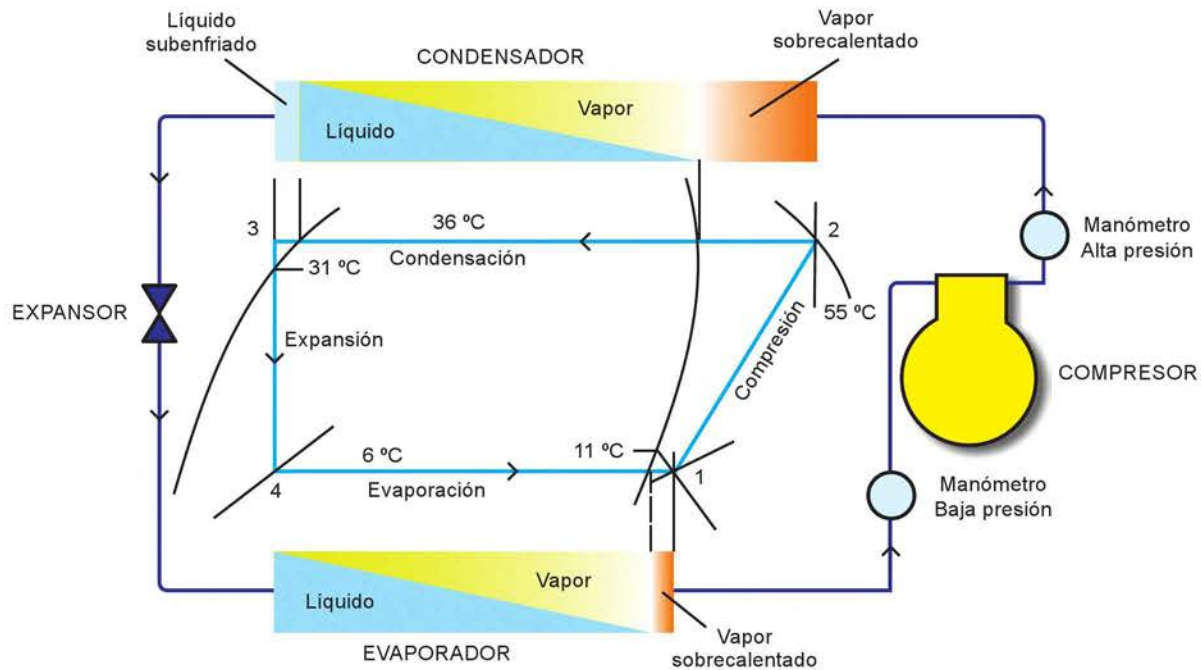


Figura 5.7. Circuito de compresión de vapor sobre diagrama presión-entalpía

## 5.5. El ciclo de compresión de vapor real

Para poder comprender la diferencia entre el ciclo de compresión de vapor real e ideal, primero, es necesario aclarar el concepto de pérdidas de carga o de presión.

### 5.5.1. Pérdidas de carga

Suponiendo que tenemos una botella de líquido refrigerante conectado a una instalación, vamos a ver cómo varía la presión del refrigerante que circula por su interior. Si colocamos un manómetro en la tubería que esté próximo a la salida de la botella y otro en otro punto que esté unos metros más alejado, observaríamos que la presión ha disminuido y, a medida que nos alejamos más de la botella, esa presión disminuye en mayor medida.

A esa disminución de presión es a lo que llamamos *pérdidas de carga*. Se dan en fluidos en movimiento y pueden producirse a lo largo de los conductos o en puntos concretos, como pueden ser codos, válvulas, etc. Si las pérdidas de carga son elevadas, se disminuye el rendimiento de la instalación.

Veamos a qué son debidas las pérdidas de carga:

- **Pérdidas a lo largo de los conductos** (pérdidas lineales), dependen de:

- **La longitud de los conductos.** Cuanto menor sea, menor será la pérdida de carga. Por ello, en las instalaciones, debe elegirse siempre el camino más corto.
- **El diámetro de los conductos.** Cuanto mayor sea, menor pérdida de carga tendremos.
- **La superficie interior de los conductos.** Se tratará de que las superficies interiores sean lo menos rugosas posibles. Cuanto más lisa sea la superficie, menor será la pérdida de carga ya que habrá menor rozamiento.
- **La velocidad del fluido.** Cuanto mayor sea la velocidad, el régimen del fluido será más turbulento y tendremos más pérdidas de carga. Debe buscarse una velocidad adecuada para que el régimen sea lo más laminar posible y disminuir así las pérdidas de carga.
- **La viscosidad del fluido.** Cuanto menor sea, menor será la pérdida de carga.
- **La posición de los conductos.** Cuando la posición de los conductos favorece la circulación por la gravedad, la resistencia que experimenta el fluido con las paredes de la tubería disminuye. Por lo tanto, si la circulación del fluido es descendente, las pérdidas de carga serán menores.

- **Pérdidas en puntos concretos** (pérdidas singulares), dependen de:

- **Cambios en la sección de los conductos.** Cuanto más se aproxime a una sección circular, menores pérdidas de carga. Trataremos de evitar secciones rectangulares.
- **Cambios de dirección de los conductos.** Los cambios de dirección provocan pérdidas de carga, por lo tanto, siempre tratarán de evitarse.
- **Accesorios.** Codos, tes, válvulas, etc. Cuanto más alto sea el número de accesorios en los conductos del circuito, mayores serán las pérdidas de carga.

En realidad, sí tendremos pérdidas de carga a lo largo del circuito frigorífico a causa de las tuberías y de los elementos de la instalación (filtros, compresor, etc.). Esto hace que el ciclo de compresión que hemos representado hasta ahora cambie, de tal forma que su trazado sea el que se muestra en la Figura 5.8.:

Podríamos preguntarnos **¿qué consecuencias tienen las pérdidas de carga para el circuito frigorífico?** La respuesta sería:

- El aumento del tamaño del compresor ya que, cuanto mayor sea la caída de presión, mayor será el volumen específico del refrigerante que pase por el compresor y menor será el desplazamiento volumétrico.
- En caso de no tener subenfriamiento, podría provocar la entrada de refrigerante en estado vapor en la válvula de expansión, lo cual no es adecuado para el correcto funcionamiento del circuito.

A lo largo de todo el circuito, tendremos caídas de presión, aunque, en general, en los circuitos frigoríficos, sue-

### 5.5.2. Representación del ciclo de compresión de vapor real

Hasta ahora, hemos estudiado el ciclo frigorífico ideal con recalentamiento y subenfriamiento. En el ciclo ideal, tanto el cambio de estado en el condensador como en el evaporador se producían sin variaciones en la presión, es decir, no teníamos pérdidas de presión o de carga.

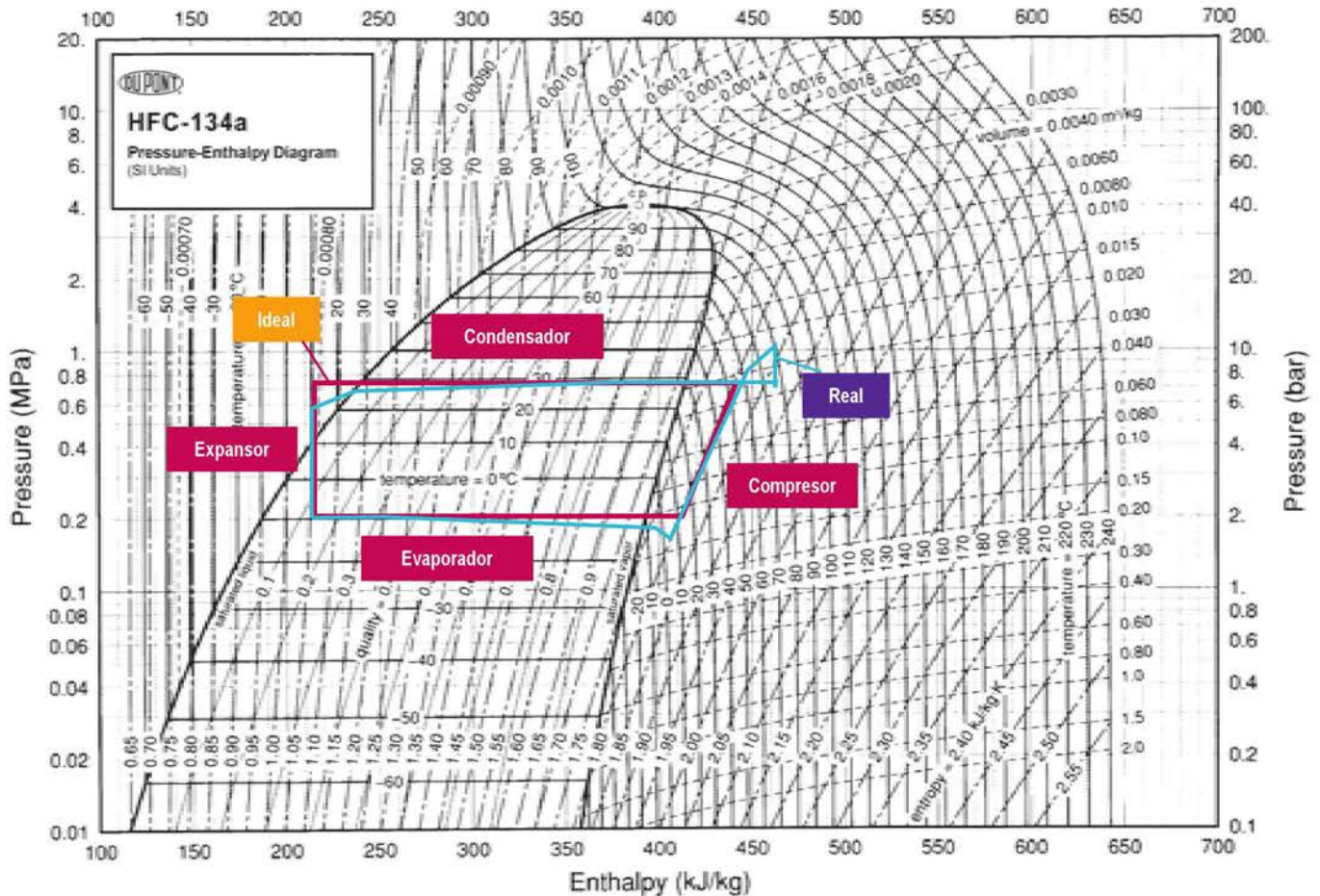


Figura 5.8. Ciclo de compresión de vapor real con subenfriamiento y recalentamiento (cortesía de Dupont)

len ser pequeñas, por lo que suele trabajarse con el ciclo ideal.

## 5.6. El sistema de refrigeración por absorción

Hasta ahora, hemos visto en detalle el sistema de refrigeración por **ciclo de compresión de vapor**, pero existe otro método de producción frigorífica llamado **sistema de absorción**. Su principio de funcionamiento es el aprovechamiento de una propiedad que tienen ciertas sustancias, como el bromuro de litio, que, cuando se encuentran en estado líquido, son capaces de disolver otra (agua o amoníaco) cuando esta última se encuentra en estado vapor. Este sistema ha vuelto a cobrar relevancia por la utilización de refrigerantes inorgánicos, como pueden ser el amoníaco o el agua, que no conllevan los problemas ambientales que tienen otros refrigerantes que contienen fluorocarbonados en su composición.

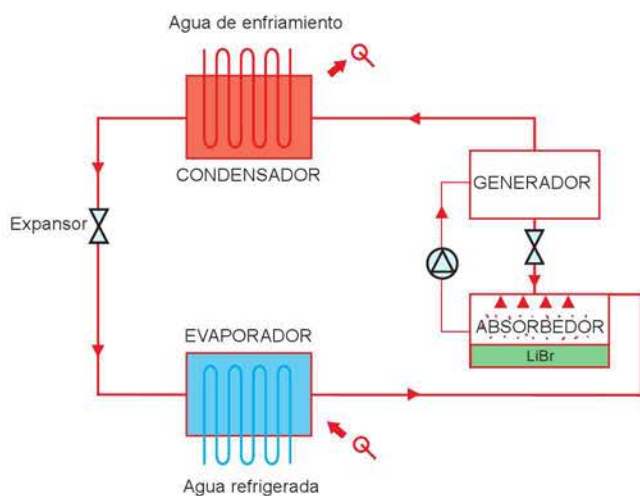


Figura 5.9. Esquema de máquina de absorción

La máquina de absorción, como podemos ver en la figura, está compuesta por:

- **El evaporador:** parte donde se pone en contacto el refrigerante con la sustancia a enfriar.
- **El expansor:** se consigue bajar la presión del líquido consiguiendo una mezcla vapor líquido a baja presión
- **El absorbedor:** absorbe el refrigerante en estado de vapor que se genera en el evaporador.

- **El generador de calor:** separador del refrigerante del absorbedor.
- **El condensador:** el refrigerante se convierte en líquido al ceder el calor recibido.

### SABÍAS QUE...

Cuando pensamos en Einstein, lo primero que se nos ocurre es el principio de relatividad. Es mucho menos conocido que, junto con Szilárd, fue el creador de la máquina de absorción. Tras diversas muertes por inhalación de gases tóxicos como el amoníaco y el cloruro de metilo, se decidió a mejorar el diseño eliminando las partes móviles y de esta forma evitar fugas, patentando la máquina de absorción.

Hay dos procesos de absorción destacados: el amoníaco-agua (refrigerante: amoníaco y absorbedor: agua) y el agua-bromuro de litio (refrigerante: agua y absorbedor: bromuro de litio). Vamos a analizar más en detalle cómo tiene lugar la refrigeración en la máquina de absorción tomando como ejemplo este último proceso.

Al entrar en contacto con el haz de tubos del **evaporador**, el agua utilizada de refrigerante se evapora tomando el calor del agua que circula por los tubos y consiguiendo de esta forma disminuir su temperatura. Es importante controlar que la presión sea inferior a la atmosférica para facilitar la evaporación.

Al recibir el calor, el agua entra en ebullición y cambia su estado de líquido a vapor. Es en el **absorbedor** donde los vapores que se producen son absorbidos por el bromuro de litio. La combinación del bromuro de litio con el agua contenida se impulsa mediante bombeo hacia el **generador**, donde recibe calor para separar el vapor de agua aumentando también su presión.

Todo el vapor de agua separado en el generador es llevado al **condensador**, allí, al entrar en contacto con el agua de condensación, se enfría y vuelve a convertirse en líquido.

El agua líquida obtenida en el condensador es canalizada al evaporador donde, por aspersion, entra en contacto con los tubos del evaporador y vuelve a repetirse el ciclo.

La principal ventaja de la máquina de absorción respecto al ciclo de compresión es que necesita aporte de energía térmica en vez de electricidad, por lo tanto, resulta muy útil para aprovechar calores residuales en instalaciones industriales o en motores. También, hoy en día, es combinado con la energía solar térmica para producir refrigeración. El principal inconveniente de las máquinas de absorción es su baja eficiencia.

- La finalidad del compresor es la de aspirar los vapores producidos por la evaporación del refrigerante en el evaporador a baja presión y descargar a alta presión estos vapores comprimidos en el condensador a fin de permitir su condensación por enfriamiento.
- La finalidad del condensador es ceder la energía en forma de calor del refrigerante al medio exterior, que puede ser agua o aire, de tal forma que el refrigerante se condense.
- La finalidad de la válvula de expansión es conseguir una gran disminución de la presión y de la temperatura del refrigerante y producir una restricción en el paso del refrigerante a través de la válvula.
- La finalidad del evaporador es extraer la energía en forma de calor del medio a refrigerar (agua o aire), de tal forma que sea el refrigerante quien absorba ese calor. Es el elemento que se encarga propiamente de realizar la producción de frío.
- El ciclo de compresión de vapor ideal se representa sobre los diagramas p-h o de Mollier que son propios para cada refrigerante. Para su trazado, se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones: para el compresor, consideraremos una compresión ideal y adiabática, ( $Q = 0$  y  $S_{\text{ent comp}} = S_{\text{salida comp}}$ ); para el condensador, consideramos que, durante el proceso de condensación, la presión no varía; para la válvula de expansión, consideramos que el flujo de refrigerante a través de ella es adiabático y no se realiza trabajo ( $Q = 0$  y  $W = 0$ ) y, para el evaporador, consideramos que, durante el proceso de evaporación, la presión no varía.
- La potencia frigorífica es la cantidad de calor a absorber del medio a refrigerar en la unidad de tiempo.
- La producción frigorífica es la potencia frigorífica extraída del recinto a refrigerar por unidad de caudal másico de refrigerante que recorre el circuito.
- El coeficiente de operación o de rendimiento frigorífico (COP) es la relación entre la energía en forma de cantidad de calor que hay que absorber del medio a refrigerar y la energía que hay que entregar para extraer ese calor ( $W_{\text{compresor}}$ ).
- El recalentamiento será un aumento de temperatura (calor sensible) a presión constante. Tiene como misión evitar que pueda llegar refrigerante en estado líquido al compresor. El recalentamiento debe ser el adecuado ya que también provocará el aumento del tamaño del compresor, el aumento de la superficie de intercambio del condensador y una disminución del COP.
- El subenfriamiento será una disminución de la temperatura del refrigerante a presión constante. Su misión es mejorar el rendimiento del sistema ya que el evaporador absorbe mayor cantidad de calor. Puede originarse en: el separador de líquido, la tubería de unión del condensador y del dispositivo de expansión o en un subenfriador.
- Las pérdidas de carga son caídas de presión y pueden darse a lo largo de los conductos o en puntos concretos del circuito, normalmente en los accesorios.
- El ciclo de compresión real es aquel en el que tendremos en cuenta las pérdidas de carga.
- El principio de funcionamiento de la máquina de absorción se basa en la propiedad que tienen ciertas sustancias y sales como el bromuro de litio, que, cuando se encuentran en estado líquido, son capaces de disolver otras, como pueden ser agua o amoníaco en estado de vapor.

## ■ Actividades de comprobación

- 5.1.** En la maquinaria frigorífica, la relación entre la energía en forma de cantidad de calor que hay que absorber del medio a refrigerar y la energía que hay que entregar para extraer ese calor es:
- a) Rendimiento frigorífico.
  - b) Coeficiente de producción frigorífica.
  - c) Potencia frigorífica.
  - d) Esa relación no puede ser medida en los circuitos frigoríficos de calor.
- 5.2.** Indica entre qué elementos tiene que ir montado el expansor:
- a) Entre el compresor y el condensador.
  - b) Entre el evaporador y el compresor.
  - c) Entre el evaporador y el condensador.
  - d) Ninguna es correcta.
- 5.3.** Para medir el grado de recalentamiento, necesitamos dos datos:
- a) Temperatura de salida del evaporador y temperatura a la que se produjo el cambio de estado en el evaporador.
  - b) Temperatura a la entrada del evaporador y temperatura a la salida del evaporador.
  - c) Temperatura a la entrada del evaporador y temperatura a la salida del condensador.
  - d) Temperatura de salida del compresor y temperatura a la entrada al condensador.
- 5.4.** Señala la respuesta correcta:
- a) La finalidad del evaporador es ceder la energía en forma de calor del refrigerante al medio exterior.
  - b) La finalidad del condensador es extraer la energía en forma de calor del medio exterior.
  - c) La finalidad del condensador es extraer la energía en forma de calor del medio a refrigerar.
  - d) La finalidad del compresor es la de aspirar los vapores producidos por la evaporación del refrigerante a baja presión y descargarlos a alta presión en el condensador.
- 5.5.** El refrigerante procedente del dispositivo de expansión llega al evaporador en estado de:
- a) Líquido.
  - b) Vapor sobrecalentado.
  - c) Vapor saturado.
  - d) Mezcla de líquido-vapor.
- 5.6.** Señala la afirmación incorrecta:
- a) Durante el proceso de condensación, en un circuito frigorífico ideal, la presión no varía.
  - b) En el dispositivo de expansión, consideramos que el flujo de refrigerante a través de él se comporta de manera adiabática.
  - c) Durante el proceso de evaporación, en un circuito frigorífico ideal, la presión no varía.
  - d) En el compresor, la cantidad de trabajo que va a realizarse es nula.
- 5.7.** El refrigerante procedente del compresor llega al condensador en estado de:
- a) Líquido.
  - b) Vapor sobrecalentado.
  - c) Vapor saturado.
  - d) Mezcla de líquido-vapor.
- 5.8.** En las máquinas frigoríficas, la compresión se realiza de forma:
- a) Ideal y adiabática.
  - b) La variación de entalpía es nula.
  - c) No se produce trabajo.
  - d) Ninguna de las anteriores es correcta.
- 5.9.** Señala la respuesta correcta:
- a) El recalentamiento será un aumento de presión a temperatura constante.
  - b) El subenfriamiento será una disminución de la temperatura del refrigerante a presión constante.
  - c) En caso de que no tengamos pérdidas de presión, estaremos ante un ciclo de compresión real.
  - d) El recalentamiento del refrigerante se produce antes de salir hacia el dispositivo de expansión.
- 5.10.** Una de las consecuencias del recalentamiento es:
- a) La disminución de la superficie de intercambio del condensador.
  - b) La disminución de la superficie de intercambio del evaporador.
  - c) El aumento del tamaño del compresor.
  - d) El aumento del COP.

## Actividades de aplicación

**5.11.** Una cámara frigorífica funciona con una temperatura de condensación de 40 °C y de evaporación de -10 °C. En el compresor, la temperatura de descarga es de 56 °C. Dibuja los puntos en el diagrama del R134a y calcula:

- El calor absorbido por el refrigerante.
- El calor eliminando en el condensador.
- La potencia frigorífica siendo el caudal 0,02 kg/s.
- El equivalente térmico del trabajo total de compresión.
- El COP.

**5.12.** Representa el ciclo frigorífico de compresión simple y explica qué misión cumple cada elemento.

**5.13.** Indica qué misión tiene el recalentamiento y el subenfriamiento en el ciclo frigorífico y represéntalo gráficamente sobre un diagrama p-h o de Mollier.

**5.14.** Una instalación frigorífica funciona con refrigerante R134a a una temperatura de condensación de 50 °C y de evaporación de -10 °C. Sabemos que el recalentamiento es de 5 °C y el subenfriamiento es de 2 °C y el caudal másico es de 0,05 kg/s.

- Dibuja los elementos básicos del circuito frigorífico sobre el diagrama de Mollier.
- Calcula el calor absorbido por el refrigerante.
- Calcula la potencia frigorífica en kW y en kcal/h.
- Calcula el trabajo total de compresión.
- Calcula el COP.

**5.15.** Describe en qué lugares del circuito puede producirse el recalentamiento y el subenfriamiento.

**5.16.** Para los puntos marcados en el diagrama de la Figura 5.10., completa la siguiente tabla:

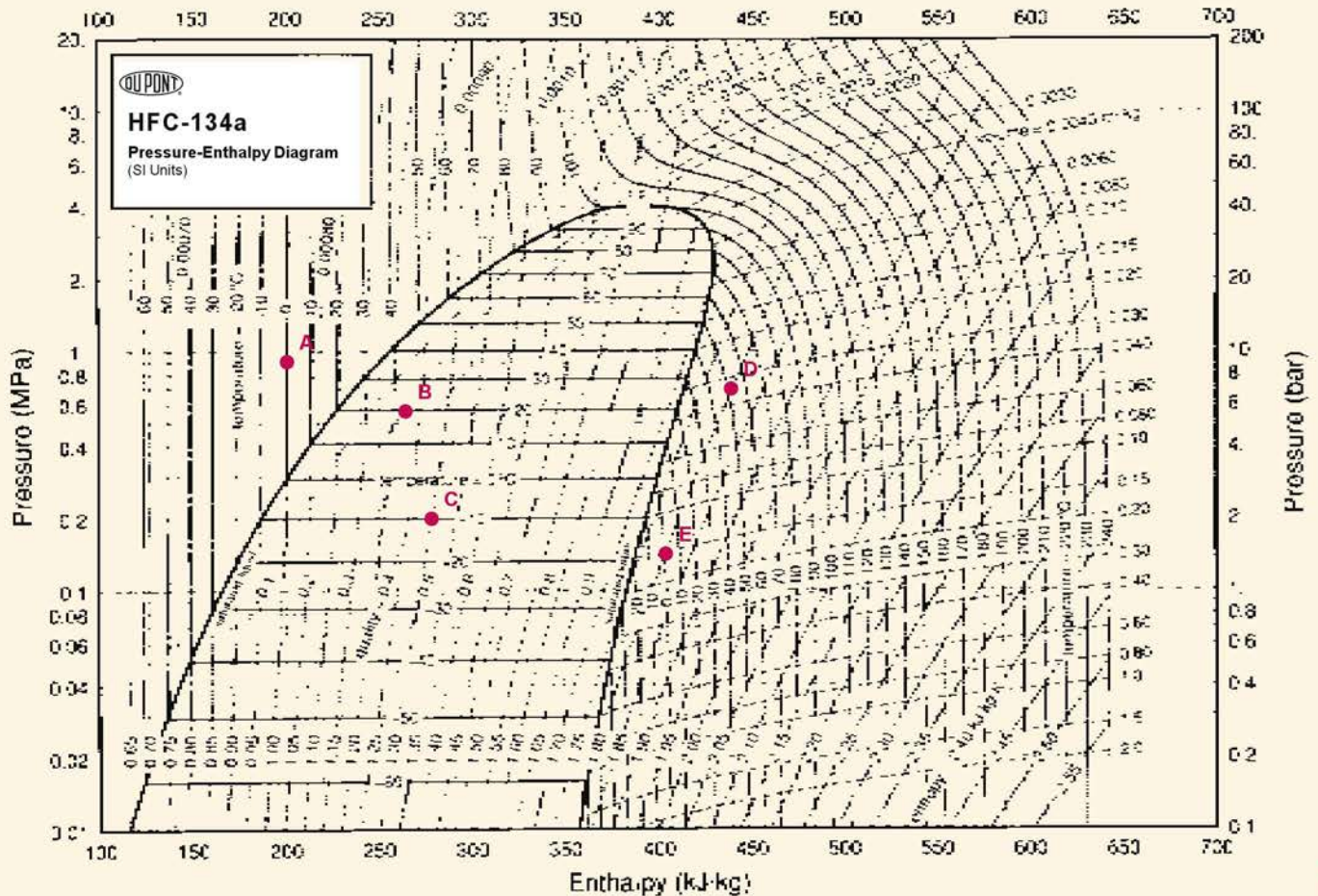


Figura 5.10. Puntos del diagrama frigorífico (cortesía de Dupont)

Punto	p (bar)	T (°C)	Entalpía (kJ/kg)	Entropía (kJ/kg K)	Volumen específico (m <sup>3</sup> /kg)
A					
B					
C					
D					
E					

5.17. Para el circuito de la Figura 5.11., determina las siguientes cuestiones:

- El calor absorbido por el refrigerante.
- El calor eliminando en el condensador.
- El equivalente térmico del trabajo total de compresión.
- El recalentamiento.
- El subenfriamiento.

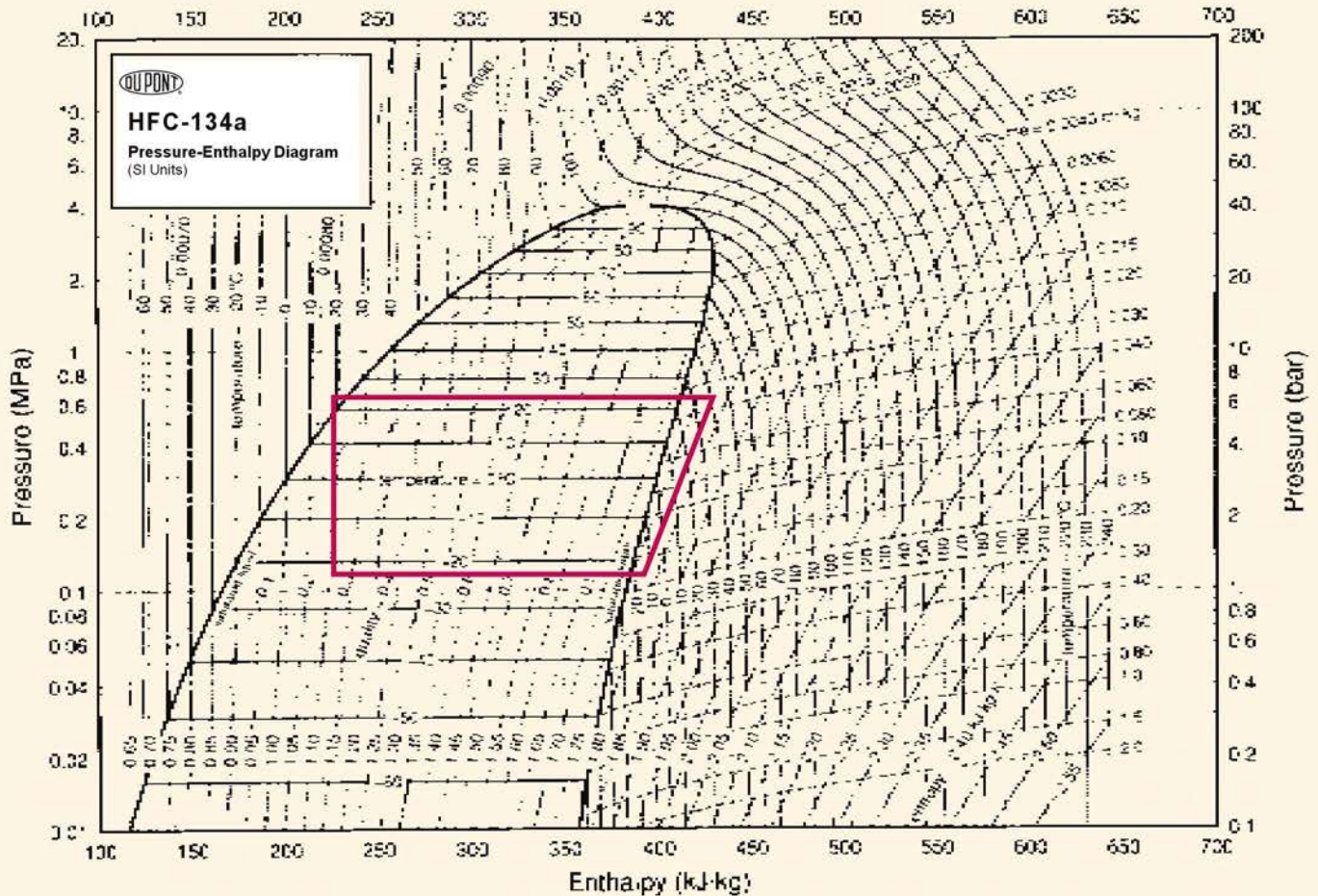


Figura 5.11. Ciclo frigorífico sobre el diagrama presión- entalpía del refrigerante R 134a

5.18. Explica por qué es tan importante la función del evaporador en el circuito frigorífico.

5.19. Expón las diversas causas de la pérdida de carga que se produce en el ciclo de compresión real del vapor y pon algún ejemplo.



5.20. Representa sobre el diagrama p-h del refrigerante R134 los puntos que se indican en la siguiente tabla. También completa los datos de cada punto.

Punto	p(MPa)	T(°C)	Entalpía (kJ/kg)	Entropía (kJ/Jg °C)	Volumen específico (m <sup>3</sup> /kg)	Porcentaje de vapor (%)
A	0,6		450			
B	0,2			2		
C		-30				40
D	1				0,03	
E		-10	250			
F	2		150			

5.21. Dibuja el ciclo frigorífico del R134a en su diagrama de Mollier a partir de los siguientes datos:

- Temperatura de condensación: 35 °C.
- Temperatura de evaporación: -5 °C.
- Temperatura a la entrada de la válvula de expansión: 25 °C.
- Temperatura en la aspiración del compresor: 5 °C.

## Actividades de ampliación

5.22. Cada tipo de refrigerante se comporta de diferente manera dependiendo de sus valores de presión y de temperatura. Así pues, existen diagramas de presión-temperatura diferentes para cada tipo de refrigerante. En internet, pueden encontrarse en las web de los fabricantes, por ejemplo: <http://www.dupont.com>. Sabiendo que, en una instalación, se ha realizado la siguiente medida: temperatura de -10 °C y presión de 2 bar.

- Indica el valor del recalentamiento si el refrigerante es R134a.
- Averigua el valor del recalentamiento si el refrigerante es R404a.

5.23. El COP determina el rendimiento frigorífico de un circuito. En el mercado, existen multitud de fabricantes que especifican el COP de sus equipos. Busca en la página web de la empresa Termoven, dedicada al diseño, fabricación y comercialización de productos para climatización y ventilación, [www.termoven.es](http://www.termoven.es), y compara los

valores del COP de distintas enfriadoras de agua. Realiza un breve informe de tu investigación.

5.24. A una empresa instaladora frigorista le encargan instalar, mantener y reparar una instalación por absorción que utiliza NH<sub>3</sub>-Agua en una industria agroalimentaria, en la que se dispone de una fuente de calor recuperable proveniente de motores de combustión. El equipo instalado consigue un valor de COP de 0,6. Sabiendo que el COP para la misma instalación utilizando el ciclo de compresión de vapor es de 4,5.

Explica la razón de que se haya decidido emplear el ciclo de absorción, a pesar del valor tan bajo de COP obtenido.



Figura 5.11. Señal para la identificación de la tubería de aspiración de la instalación con amoníaco

5.25. En el RITE aparecen los valores de las caídas de presión máximas admisibles de los siguientes componentes:

COMPONENTE	CAÍDA DE PRESIÓN MÁXIMA ADMISIBLE
Baterías de calentamiento	40 Pa
Baterías de refrigeración en seco	60 Pa
Baterías de refrigeración y deshumectación	120 Pa
Recuperadores de calor	80 a 120 Pa
Atenuadores acústicos	60 Pa
Unidades terminales de aire	40 Pa
Elementos de difusión de aire	40 a 200 Pa, dependiendo del tipo de difusor
Rejillas de retorno de aire	20 Pa
Secciones de filtración	Menor que la caída de presión admitida por el fabricante, según el tipo de filtro

Identifica qué tipo de pérdida de carga corresponde con cada uno de los valores que se dan e indica qué factores influyen en cada una de ellas.

5.26. Selecciona una de las plantas enfriadoras de agua por ciclo de absorción, que puedes encontrar en la página web del fabricante Carrier (<http://www.carrier.es>). Y a continuación completa la siguiente ficha técnica de la máquina.

### FICHA TÉCNICA

Fabricante: .....

Modelo: .....

Número de serie: .....

Identificación en la instalación: grupo frigorífico nº. ...., planta enfriadora nº. ...., etc.

Lugar de instalación: central térmica, central de cogeneración, sala de máquinas, etc. ....

Tipo: simple efecto, doble efecto, llama directa, etc.

Año de fabricación: .....

Refrigerante: agua, amoníaco .....

Absorbente: Bromuro de Litio, agua. Concentración: .... % en peso

Energía térmica en el generador: llama directa (combustible), vapor de agua saturado (presión), agua caliente (temperatura); agua sobrecalentada (temperatura/presión) inhibidores: Nitrato de Litio, Cromato de Litio, Molibdato de Litio .....

Regeneradores: Hidróxido de Litio, Alcohol Octílico .....

Carga nominal de productos:

Refrigerante ..... Litros/kg

Absorbente. .... Litros/kg

Alcohol Octílico. .... Litros

Otros ..... Litros/kg

Bomba de refrigerante: Modelo: .....; Potencia motor: ..... kW

Bomba de solución diluida: Modelo: .....; Potencia motor: ..... kW

Bomba de solución intermedia: Modelo: .....; Potencia motor: ..... kW

Bomba de solución concentrada

(*Interstage* - doble efecto): Modelo: .....; Potencia motor: ..... kW

Sistema de purga: convencional; alta eficiencia; manual. ....

Control: electromecánico; electrónico. ....

Régimen de funcionamiento .....

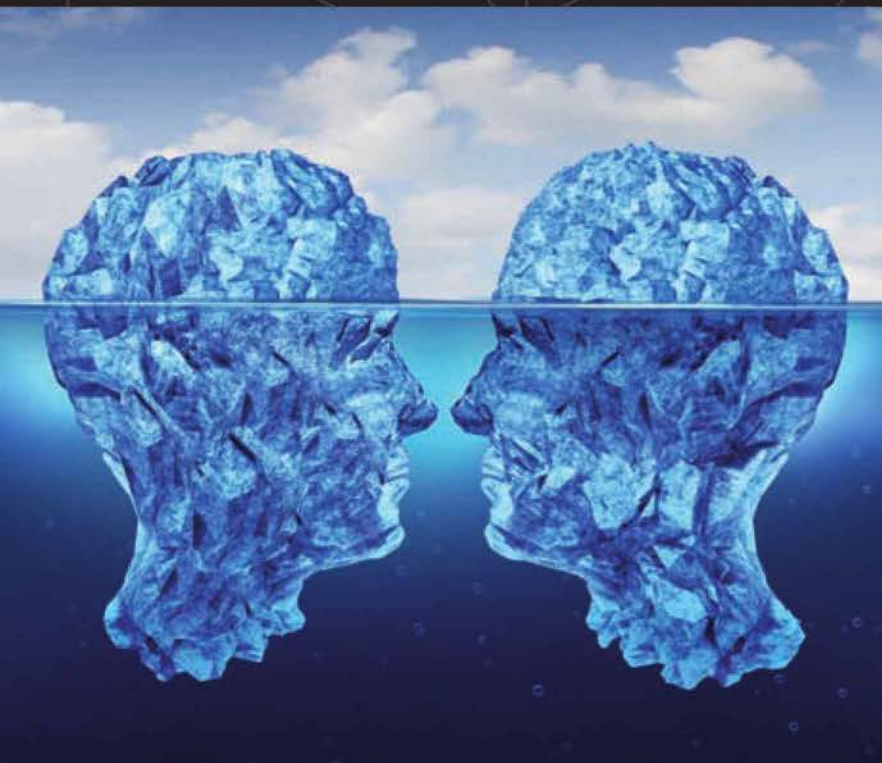
Verano: número de meses .....

Invierno: número de meses .....

Dimensiones: ..... mm x ..... mm x ..... mm

Peso: ..... kg

# Fluidos refrigerantes y lubricantes



Desde la Antigüedad, se han empleado sustancias para conseguir bajas temperaturas. Para la conservación de alimentos, se ha empleado sal y, posteriormente, hielo y, en la actualidad, se emplean neveras o cámaras frigoríficas. Para la producción de hielo o para el funcionamiento de neveras o cámaras frigoríficas, es necesario que, por las tuberías del circuito de compresión de vapor, circulen unas sustancias que reciben el nombre de refrigerantes. En esta unidad, aprenderás lo que es un refrigerante, su función en el sistema frigorífico, cómo se clasifican, a analizar los problemas medioambientales que ha conllevado su uso y las posibles soluciones a los mismos, las instrucciones para manipularlos y la función de los lubricantes.

# 6

## Contenidos

- 6.1. Definición y características de los refrigerantes
- 6.2. Refrigerantes e impacto ambiental
- 6.3. Clasificación de los refrigerantes
- 6.4. Denominación de los refrigerantes
- 6.5. Mezclas de gases refrigerantes
- 6.6. Control y manipulación según normativa
- 6.7. Lubricantes
- Resumen
- Actividades finales

## Objetivos

- Principales características de los refrigerantes.
- Identificación de los refrigerantes empleados en las aplicaciones más habituales.
- Cómo se clasifican.
- Lubricantes según el tipo de refrigerante. Miscibilidad y solubilidad.
- Manipulación de refrigerantes.

## 6.1. Definición y características de los refrigerantes

Podemos definir un refrigerante como la sustancia que tiene la capacidad de transportar e intercambiar calor con el medio ambiente, cediéndolo a alta temperatura y absorbiéndolo a baja. Podemos clasificarlos según la forma de intercambiar calor en:

- **Fluido frigorígeno o refrigerante primario.** Extraen calor por aumento de su calor latente, es decir, cambian de estado cuando reciben o ceden calor.
- **Fluido frigorífero o refrigerante secundario.** Extraen calor por aumento de su calor sensible, pero no cambian de estado cuando reciben o ceden calor.

A continuación, vamos a analizar cuáles son las características a tener en cuenta en la elección de un refrigerante y cuál es su valor más conveniente para el circuito frigorífico.

- **Temperatura de ebullición.** Debe ser lo más baja posible para una determinada presión, de tal forma que permita reducir la presión de evaporación de refrigerante permaneciendo en estado líquido a bajas temperaturas.
- **Volumen específico de vapor ( $m^3/kg$ ).** Es el espacio que ocupa la unidad de masa de vapor refrigerante.

Debe ser lo más bajo posible para conseguir un alto rendimiento de la instalación.

- **Calor latente de evaporación.** Es la cantidad de calor absorbido por el líquido refrigerante en el cambio de estado. Su valor debe ser elevado.
- **Temperatura y presión críticas.** Es el punto a partir del cual el refrigerante se mantiene en estado gaseoso. El refrigerante no se condensará al extraerle calor, aunque elevemos la presión.
- **Interacción con el aceite.** Un refrigerante debe ser miscible con el aceite para que no se acumule en puntos de la instalación y origine pérdida de eficiencia entre otros problemas, que veremos más adelante.
- **Temperatura y presión de condensación.** Deben ser bajas para garantizar que la condensación pueda realizarse a temperatura ambiente.
- **Interacción con el agua.** Es conveniente que el refrigerante tenga una alta capacidad de absorción de agua para que no aparezca libre en el circuito.
- **Inflamabilidad.** No debe ser explosivo ni inflamable. Como veremos más adelante, los refrigerantes se clasifican en tres grupos de seguridad teniendo en cuenta la inflamabilidad y los efectos tóxicos.

Hay una mínima concentración en el aire a partir de la cual la mezcla puede ser inflamable (LI).

Grupo de seguridad

	Altamente inflamable	A3	B3
	Ligeramente inflamable	A2	B2
	No inflamable	A1	B1
		Baja toxicidad	Alta toxicidad

Toxicidad creciente

**Figura 6.1.** Grupos de seguridad y su determinación en función de la inflamabilidad y toxicidad. De forma simplificada se denominan grupo L1 (A1); grupo L2 (A2, B1, B2) y grupo L3 (A3, B3)

Si la concentración de la mezcla aumenta, la cantidad de oxígeno disminuirá, llegando a un punto a partir del cual la mezcla no podrá inflamarse (LS). Estas concentraciones se suelen dar en porcentajes de volumen.

- **Toxicidad.** Un refrigerante no debe ser tóxico ni venenoso para que no represente ningún peligro para los profesionales que se encarguen de su manipulación. Este término solo tiene sentido cuando se proporciona con el grado de concentración y el tiempo de exposición para causar daños. Así, se utiliza el parámetro TLV(TWA) como índice, que nos indica el valor límite umbral de concentración media ponderada en el tiempo para una jornada normal de trabajo (8 horas al día, 40 horas a la semana), es decir, el periodo en el que se puede estar expuesto sin sufrir efectos adversos para la salud.
- **Efectos sobre otros materiales.** Los refrigerantes pueden tener efectos corrosivos sobre algunos metales o reaccionar y dar como resultado otros productos.
- **Facilidad para detectar las fugas.** Los refrigerantes tienen tendencia a fugarse y su detección debe ser rápida. Por ejemplo, a través de un olor peculiar, en caso de no ser así, hay que añadirle pequeñas cantidades de sustancias que le aporten un olor característico.
- **Coste.** Deben ser los más económicos posible.

### ■ SABÍAS QUE...

Las salmueras son fluidos frigoríferos inorgánicos que se han utilizado tradicionalmente en la conservación de alimentos. Al añadir sal (NaCl) al agua, la temperatura de congelación estará por debajo de 0 °C. Tienen la desventaja de que presentan problemas de corrosión, por lo que el sistema debe mantenerse a alta presión y sin estar en contacto con la atmósfera.

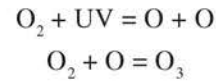
## ■ 6.2. Refrigerantes e impacto ambiental

Debido a la problemática medioambiental existente, el hombre ha tenido que tomar medidas drásticas que ayuden a la conservación del medio ambiente y de esta forma conseguir que su actividad económica sea sostenible. A continuación, vamos a analizar el impacto que estas medidas han tenido en los refrigerantes.

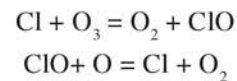
### ■ 6.2.1. La destrucción de la capa de ozono

El ozono se encuentra presente en la estratosfera y actúa como filtro de los rayos ultravioletas del sol. Para que se

forme el ozono, tiene que producirse la siguiente reacción:



El hombre, debido a su actividad productiva, ha estado continuamente emitiendo productos dañinos para la capa de ozono, pero nos podríamos preguntar: ¿Qué tiene que ocurrir para que se destruya la capa de ozono? Si las concentraciones de cloro y de bromo aumentan debido a emisiones de compuestos químicos, entre los que cabe destacar los compuestos clorofluorocarbonados (CFC) como puede ser el caso de los fluidos refrigerantes, el cloro reacciona con la molécula de ozono y se produce la siguiente reacción:



En la que podemos observar cómo se destruye la molécula de ozono y se obtienen diferentes compuestos químicos.

Para evitar esta situación, hubo que tomar importantes acciones correctivas y, tanto en el Protocolo de Kioto como en el de Montreal, se fijaron unos objetivos para la reducción de las emisiones de gases invernaderos a la atmósfera. El objetivo del Protocolo de Kioto fue reducir en un 5,2 % las emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo respecto a los niveles de 1990 durante el periodo del 2008 al 2012, mientras que el Protocolo de Montreal estableció un cronograma para la reducción a la mitad de la emisión de ciertos gases como los CFC.

### ■ SABÍAS QUE...

El agujero de la capa de ozono es el lugar donde se producen reducciones anormales de dicha capa y tiene especial incidencia en la zona de la Antártida. El contenido de ozono se mide en unidades Dobson.

Gran parte de los gases afectados por el Protocolo de Montreal son usados en una alta proporción en las instalaciones frigoríficas. Algunos ejemplos son los que afectan a la capa de ozono y que colaboran con el efecto invernadero, que son: R12, R502, R22.

Hoy en día, se está trabajando para la sustitución de esos refrigerantes por otros inocuos para la capa de ozono. Estas nuevas opciones, además de ser eficaces, deben contar con características de rendimiento similares o, mejor aún, cambiar a refrigerantes naturales y de un mejor rendimiento, como lo es el amoníaco.

Para poder valorar la capacidad de un gas refrigerante en la destrucción de la capa de ozono, se utiliza el indicador ODP (Ozone Depletion Potential). Cuanto más alto es el

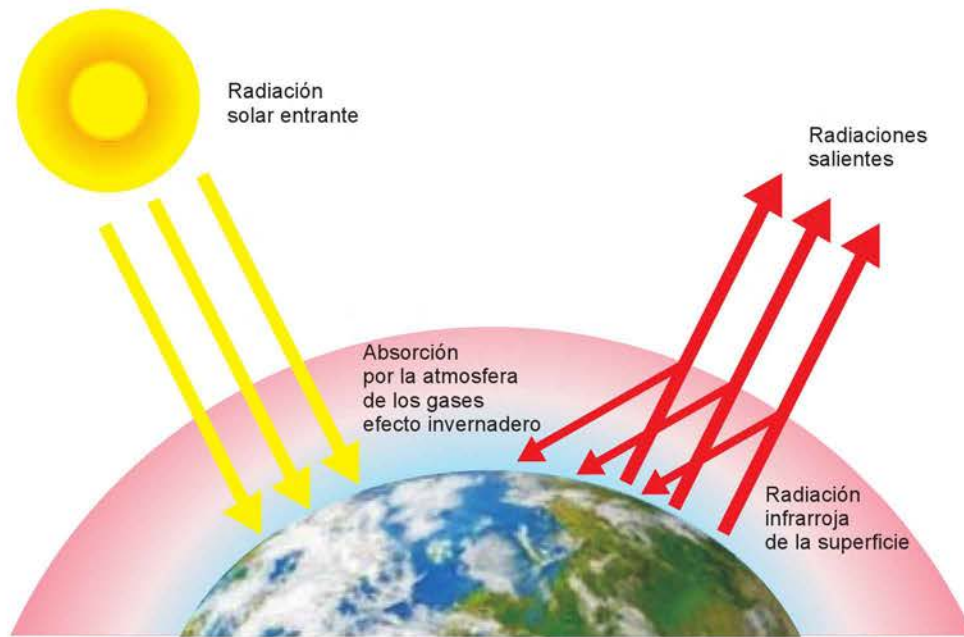


Figura 6.2. Gases en la estratosfera que están absorbiendo, refractando y reflejando radiación infrarroja

parámetro, más dañino será para la capa de ozono. El parámetro se obtiene por comparación con el R11, que tiene un valor ODP = 1. En la siguiente figura, vamos a ver valores ODP para distintos refrigerantes.

Refrigerante	ODP
R22	0,055
R134a	0
R401A	0,037
R401B	0,040
R402A	0,02
R402B	0,03
R404A	0
R408A	0,023
R410A	0
R23	0
R717	0
R507A	0

Figura 6.3. Valor de ODP para distintos refrigerantes

## 6.2.2. El efecto invernadero

Recibe este nombre porque los fenómenos que ocurren son similares a los que tienen lugar en un invernadero. Una parte de la radiación solar recibida en la Tierra se transforma en calor, se mantiene en la superficie y aumenta la temperatura de esta. Por lo tanto, de toda la energía recibida, no toda regresa al espacio. Los gases de efecto invernadero, entre los que se encuentran los refrigerantes, dejan pasar la radiación solar, pero no la dejan salir, lo que contribuye al calentamiento global. Uno de los parámetros a tener en cuenta en un refrigerante es el tiempo de vida ya que, cuanto mayor sea este, mayor será su efecto invernadero.

El coeficiente llamado GWP (Global Warming Potential) mide la contribución de una sustancia al efecto invernadero o al calentamiento global del planeta. Este índice se obtiene por comparación con el efecto del  $\text{CO}_2$ , que se toma como  $\text{GWP} = 1$ . Este parámetro no tiene en cuenta el  $\text{CO}_2$  emitido a la atmósfera para la producción de la energía eléctrica consumida por el equipo durante su funcionamiento, de ahí que la tendencia sea la utilización de un nuevo concepto llamado TEWI (Total Equivalent Warming Impact), que reemplaza al GWP.

### SABÍAS QUE...

La reducción de ozono fue descubierta en la Antártida en 1970, sin embargo, hasta marzo de 1985, no se reunieron en Viena 22 Estados para firmar el Convenio de Viena con el objeto de protegerla.

Refrigerante	GWP
R22	1.700
R134a	1.300
R401A	1.082
R401B	1.186
R402A	0,64
R402B	0,49
R404A	3.260
R408A	2.743
R410A	1.725
R23	6
R717	0
R507A	3.300

Figura 6.4. Valor de GWP para distintos refrigerantes

El TEWI se define como la suma del impacto directo (*chemical emissions*) y el impacto indirecto, que sería derivado de la producción de energía eléctrica necesaria para la alimentación de los equipos de la energía. El TEWI es medido por la masa del total equivalente de CO<sub>2</sub> resultante de la suma del impacto directo generado por un escape de fluido refrigerante en el sistema y también del impacto indirecto generado por el CO<sub>2</sub> emitido en la producción de energía eléctrica necesaria para alimentar equipos.



### SABÍAS QUE...

En 1956 se define la nueva nomenclatura de los refrigerantes con objeto de disponer de una designación universal y no de la variedad existente.

## 6.3. Clasificación de los refrigerantes

Los refrigerantes son sustancias químicas formadas por distintos elementos, los cuales pueden entrañar mayor o menor riesgo para el ser humano. Los refrigerantes pueden clasificarse de acuerdo a:

- Su composición química.
- El grado de seguridad.

### SABÍAS QUE...

Los CFC también están contenidos en algunos aerosoles, con el consecuente efecto adverso para la capa de ozono. Se han ido reemplazando progresivamente por otros respetuosos con el medio ambiente.

### 6.3.1. Clasificación de acuerdo a su composición química

Atendiendo a los elementos que componen la molécula del refrigerante, podemos clasificarlos en:

#### • Orgánicos.

Se caracterizan por poseer enlaces de carbono-hidrógeno en su estructura.

- **CFC.** Estos son los que tienen una mayor capacidad de destrucción de la capa de ozono debido a su gran estabilidad, por lo tanto, su ODP es alto. Son miscibles y solubles con aceites minerales y sintéticos. Actualmente, su uso está prohibido. Como ejemplos más significativos podemos encontrar el R11 y el R12.
- **HCFC.** Debido a que su molécula es menos estable, su ODP es más bajo. Esta característica hace que se denominen refrigerantes de transición puesto que han sido una solución intermedia a la sustitución de los CFC.

La miscibilidad con los aceites minerales no es óptima y con los sintéticos no son totalmente solubles. Algunos ejemplos de este tipo son: R22, R141b, R403B, R408A, R401A R401B, R402A, R402B, R409A.

- **HFC.** No contienen cloro en su composición, solo contienen flúor, hidrógeno y carbono. Al no poseer cloro, no afectan a la capa de ozono. No son compatibles con los aceites minerales, pero sí con los sintéticos. Algunos ejemplos de este tipo son: R134a, R413A, R404A, R507, R407C, R417A, R410A.

#### • Inorgánicos.

Estos compuestos, por el contrario, no poseen enlaces carbono-hidrógeno en su estructura. Se caracterizan por un bajo coste y por tener un ODP bajo.

- **CO<sub>2</sub> (R744).** El CO<sub>2</sub> es un gas inerte no contaminante. Su ODP es cero, por lo que es inocuo para el

medioambiente y seguro para el futuro. Esta característica, unida a su bajo coste y a su baja peligrosidad y toxicidad, lo convierte en un refrigerante interesante. Entre sus principales ventajas, destaca el alto rendimiento volumétrico (3-12 veces el rendimiento) y la necesidad de compresores de menor tamaño y cilindrada. Entre los principales inconvenientes que presenta, destacan las condiciones especiales de diseño de los equipos: el espesor de las tuberías y las mayores medidas de seguridad ya que la presión de diseño es muy elevada comparada con otros refrigerantes, lo que implica una mayor inversión inicial. Si se produce un escape, el CO<sub>2</sub> se junta a nivel del suelo y desplaza el aire. Es inodoro, por lo que, en caso de escape, no hay advertencia basada en el olor.

- **Agua.** El hecho de que demande unas presiones de evaporación por debajo de la presión atmosférica dificulta su aplicación. Su aplicación como refrigerante primario es más visible en los sistemas de absorción donde puede actuar como refrigerante o como absorbente. También se utiliza en los sistemas de enfriamiento al vacío. Se utiliza como fluido secundario en aplicaciones con fan-coils.
- **Amoniaco (R717).** Aunque es tóxico e inflamable, sus buenas propiedades lo hacen ser muy apropiado para ciertas condiciones. Presenta el problema de que no debe ser utilizado con cobre o aleaciones ya que produce corrosión. Se ha utilizado ampliamente en instalaciones industriales, aunque ya se ensaya para instalaciones domésticas.

A modo de resumen, podemos encontrar el siguiente gráfico:

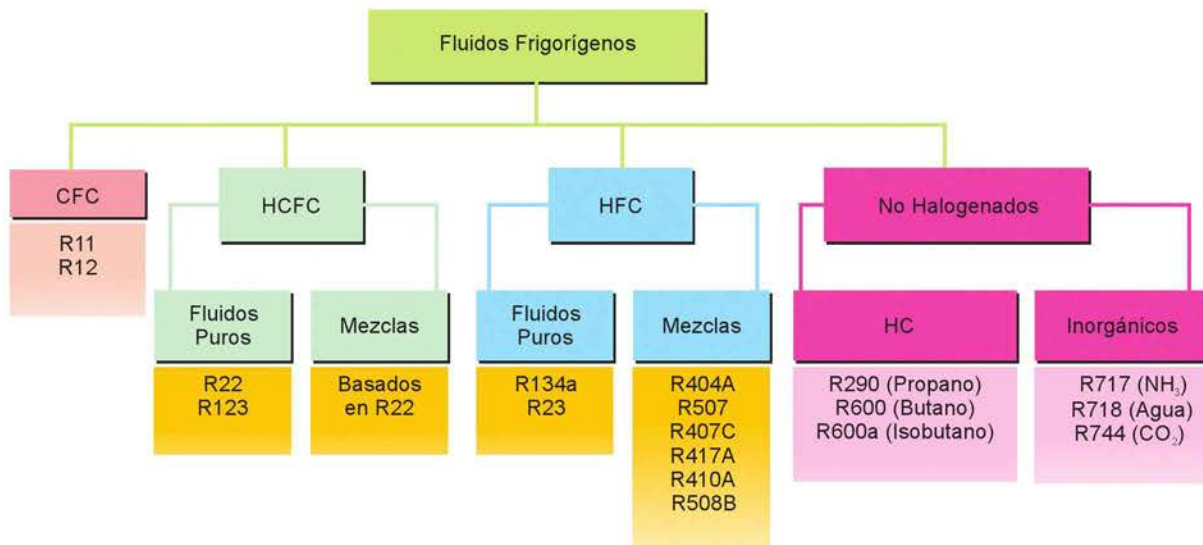
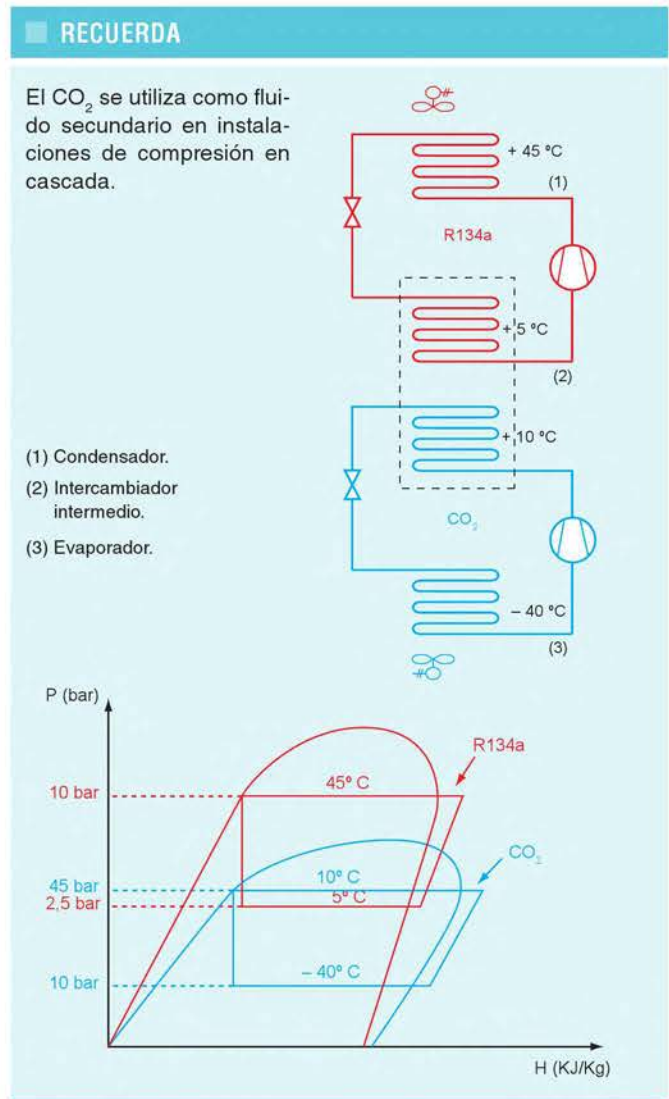


Figura 6.5. Esquema de clasificación de refrigerantes



### 6.3.2. Clasificación de acuerdo al grado de seguridad

Entre las propiedades de los refrigerantes se encuentran su índice de toxicidad y la inflamabilidad. Teniendo en cuenta esto, se clasifican en los siguientes grupos:

- **Grupo de alta seguridad (L1).** Para refrigerantes no inflamables y de acción tóxica ligera o nula. Los refrigerantes del grupo L1 son los más utilizados en todos los sistemas y aplicaciones. Como ejemplos, podemos dar el R134a, el R407C y el R22.
- **Grupo de media seguridad (L2).** Para refrigerantes de acción tóxica o corrosiva o bien inflamables o explosivos mezclados con aire en un porcentaje en volumen igual o superior a 3,5 %. En general, los refrigerantes del grupo L2 no estarán permitidos en sistemas directos, indirectos abiertos o indirectos abiertos ventilados para aplicaciones en acondicionamiento de aire o de calefacción de bienestar. El R717 (amoníaco) es un ejemplo de este tipo de refrigerante.
- **Grupo de baja seguridad (L3).** Para refrigerantes inflamables o explosivos mezclados con aire en concentraciones inferiores al 3,5 %. Los sistemas directos e indirectos, excepto los indirectos cerrados con o sin ventilación y los dobles indirectos aplicados a locales de categoría C y D, no estarán permitidos en instalaciones de acondicionamiento de aire y de calefacción de bienestar. El R290 (propano) y el R600 (butano) son ejemplos de este grupo.

#### Actividad propuesta

- 6.1. Clasifica los siguientes refrigerantes de acuerdo a su composición química y a su grado de seguridad: R134a, R404A, R600a, R717 y R143a.

### 6.4. Denominación de los refrigerantes

De acuerdo al artículo 4.1 del Reglamento de Seguridad para Instalaciones Frigoríficas, los refrigerantes se denominarán o expresarán por su fórmula o por su denominación química o, si procede, por su denominación simbólico alfanumérica.

La denominación comercial será un complemento y nunca suficiente para nombrar al refrigerante.

La denominación alfanumérica se obtiene a partir de su fórmula química siguiendo las reglas que se detallan a continuación:

1. El primer carácter empezando por la izquierda es la *R* de refrigerante:
2. Si el compuesto carece de bromo:
  - La primera cifra de la derecha indica el número de átomos de flúor de su molécula.
  - La cifra situada a la izquierda de la anterior indicará el número de átomos de hidrógeno de su molécula más uno.
  - A la izquierda de la anterior, se indicará con otra cifra el número de átomos de carbono de su molécula menos uno. Cuando resulte un cero, no se indicará.
  - El resto de los enlaces se completará con átomos de cloro.

Ejemplo: para calcular la nomenclatura simbólica del refrigerante  $C F_3 C H_2 F$ , operaríamos de la siguiente forma:

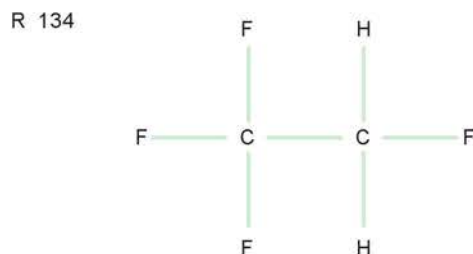
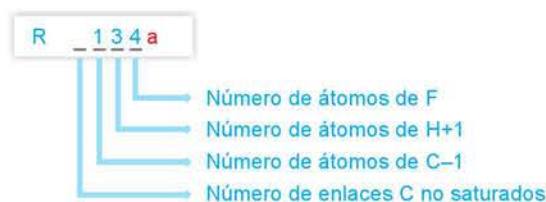


Figura 6.6. Denominación: 1,1,1,2 - Tetrafluoretano (R134a)

La letra *a* del R134a simboliza la simetría de la molécula, de tal forma que, al aumentar la simetría, se colocan las letras *a*, *b*, *c*, etc.

#### SABÍAS QUE...

El refrigerante R134a fue sintetizado por primera vez en 1936. Más tarde, llegarían el R13, en 1945; el R500, en 1950, y el R502, en 1962.

3. Para los compuestos que sí tienen bromo:
  - Se seguirán los mismos pasos indicados cuando el compuesto carece de bromo.
  - Se añadirá a la derecha una *B* mayúscula seguida del número de dichos átomos del bromo.

Ejemplo: para calcular la nomenclatura simbólica del refrigerante  $CBrClF_2$ , tendríamos el siguiente resultado:

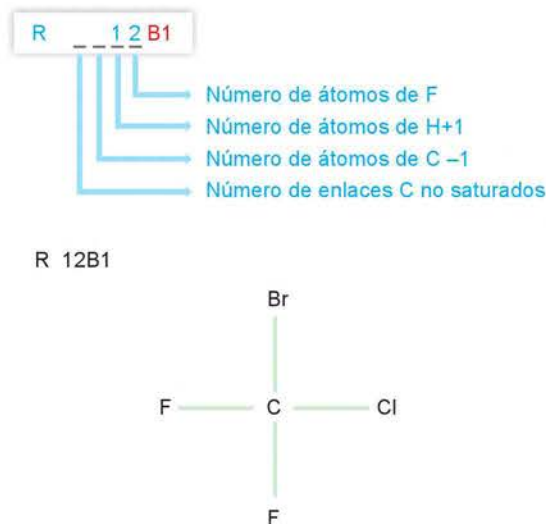


Figura 6.7. Denominación: Bromoclorodifluorometano (R12B1)

Se pueden distinguir dos tipos de mezclas de refrigerantes: azeotrópicas y zeotrópicas, como veremos más adelante.

Las mezclas zeotrópicas se expresarán mediante la denominación de sus componentes, intercalando entre paréntesis el porcentaje en peso correspondiente de cada uno y enumerándolos en orden creciente de su temperatura de ebullición a la presión de 1.013 bar (absoluto). También podrán designarse por un número de la serie 400. Cuando dos o más mezclas zeotrópicas están compuestas por los mismos elementos en diferentes proporciones, se utilizarán las letras A, B, C, etc. para distinguirlas entre ellas.

Las mezclas azeotrópicas se designarán por un número de la serie 500.

Para obtener la nomenclatura de los compuestos inorgánicos, añadiremos 700 a los pesos moleculares de los elementos.

Por ejemplo, para obtener la nomenclatura del  $NH_3$ , teniendo en cuenta que el peso molecular del amoníaco es 17, su denominación será R717.

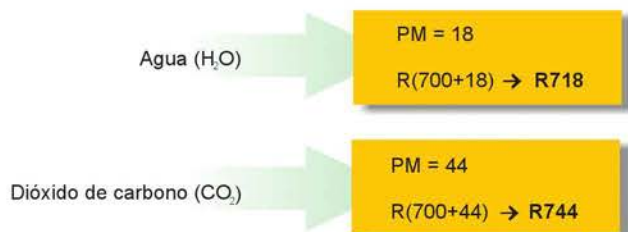


Figura 6.8. Nomenclatura de compuestos inorgánicos:  $H_2O$  y  $CO_2$

Tabla 6.1. Nomenclatura de refrigerantes según el Standard 34

Serie	Nombre	Gas
000	Metanos	R12
100	Etanos	R134a
200	Propanos	R290
400	Zeotropos	R401A
500	Azeótropos	R502
600	Orgánicos	R600a
700	Inorgánicos	R717

### Actividad propuesta

6.2. Obtén la numeración simbólica de estos refrigerantes a partir de su formulación química:

- $C Cl_2 F_2$ .
- $C H Cl_2 F$ .
- $C H_3 Cl$ .

## 6.5. Mezclas de gases refrigerantes

Debido a la problemática ambiental de destrucción de la capa de ozono y al calentamiento global, cada vez se están investigando y utilizando más mezclas de refrigerantes.

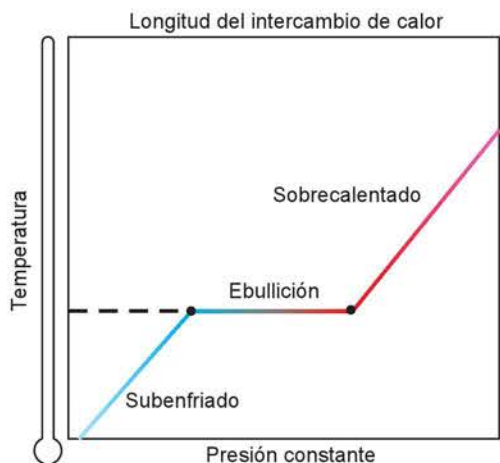
Las mezclas de refrigerantes se han creado debido a la necesidad de sustituir los refrigerantes que producían problemas medioambientales por otros con propiedades similares para mejorar las características de los refrigerantes puros ampliándose su campo de aplicación.

Las mezclas pueden tener como máximo cuatro componentes.

### 6.5.1. Clasificación de las mezclas de refrigerantes

Las **mezclas azeotrópicas** se comportan como refrigerantes puros; en ellas los procesos de evaporación y condensación se producen a temperatura y presión constantes, de forma que estas mezclas solo tienen un punto de ebullición y un punto de condensación para el sistema.

En la Figura 6.9., podemos observar que, en mezclas azeotrópicas, el cambio de estado a presión constante se produce solo a una temperatura.

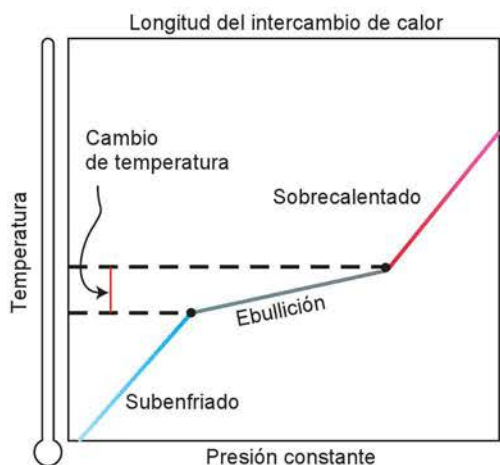


**Figura 6.9.** Las mezclas azeotrópicas presentan solo una temperatura en el punto de ebullición

### ■ SABÍAS QUE...

Azeótropo viene del griego y significa «hervir sin cambio o punto de ebullición invariable».

En las **mezclas zeotrópicas**, el punto de ebullición de los refrigerantes se produce a muchas temperaturas con una presión constante.



**Figura 6.10.** Las mezclas zeotrópicas presentan varias temperaturas en el punto de ebullición

Cuando analizamos una tabla de una mezcla no azeotrópica, nos encontramos que, a una determinada temperatura, tenemos dos tipos de presiones: una se corresponde con la presión de líquido saturado o de burbuja y la otra de vapor saturado o rocío. Esta variación de temperatura producida por las volatilidades relativas de los distintos componentes durante el cambio de estado se denomina *deslizamiento*.

Cuando el deslizamiento es tan pequeño que no afecta en el cálculo, consideramos que el refrigerante es **casi-azeotrópico**.

### ■ RECUERDA

En la Unidad didáctica 5, se estudió cómo interpretar los diagramas p-h, que son utilizados para obtener los datos de presión y de temperatura de los distintos refrigerantes.

### Actividad propuesta

- 6.3.** Calcula para el refrigerante R407C el deslizamiento de presión para una temperatura de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Para ello, utiliza el diagrama de Mollier del refrigerante.

## ■ 6.5.2. Mezclas de refrigerantes más significativas

Actualmente, ya existen mezclas por la sustitución del R12 y del R512. A continuación, vamos a estudiar algunas de las mezclas de refrigerantes más significativas (Tabla 6.2.):

- **R507A.** Esta mezcla está compuesta al 50 % por R125 y R143a. Sustituto del R502 y del R22 en medias y en bajas temperaturas.
- **R407C.** Es una mezcla de tres componentes y no es azeotrópica. Además, presenta  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$  de deslizamiento, lo cual es aprovechable en el ciclo de frío, pero no es adecuado para su funcionamiento en el ciclo de calefacción.
- **R404A.** Esta mezcla está compuesta por R125 al 44 %, R143a al 52 % y por R134a al 4 %. Se utiliza como sustituto del R502 y el R22 en equipos para conservación y congelación de alimentos.
- **R410A.** Es una mezcla de dos componentes al 50 % cada uno: R32 y R125. Su punto de ebullición a 1,013 bar de presión varía entre  $-51,6$  y  $-51,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , lo cual indica que su deslizamiento es muy pequeño, de tan solo  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , lo que la convierte en una mezcla casi azeotropía, que funciona bien en modo calor, aunque su principal aplicación es en equipos de aire acondicionado de baja y media potencia.

## ■ 6.6. Control y manipulación según normativa

Cuando extraemos el refrigerante de una instalación, hay que evitar su emisión a la atmósfera. Para esto, se han desa-

## Actividad resuelta

6.1. Calcula para el refrigerante R407C el deslizamiento de temperatura para una presión de evaporación de 3 bar. Para ello, utiliza el diagrama de Mollier del refrigerante.

Solución:

Dibujando la línea de presión, comprobaremos que la temperatura de líquido saturado es de  $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $T_2$ ) y la de vapor saturado, de  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $T_1$ ). Restando ambas temperaturas, tendremos el deslizamiento:

$$T_1 - T_2 = (-12) - (-19) = 7\text{ }^{\circ}\text{C}$$

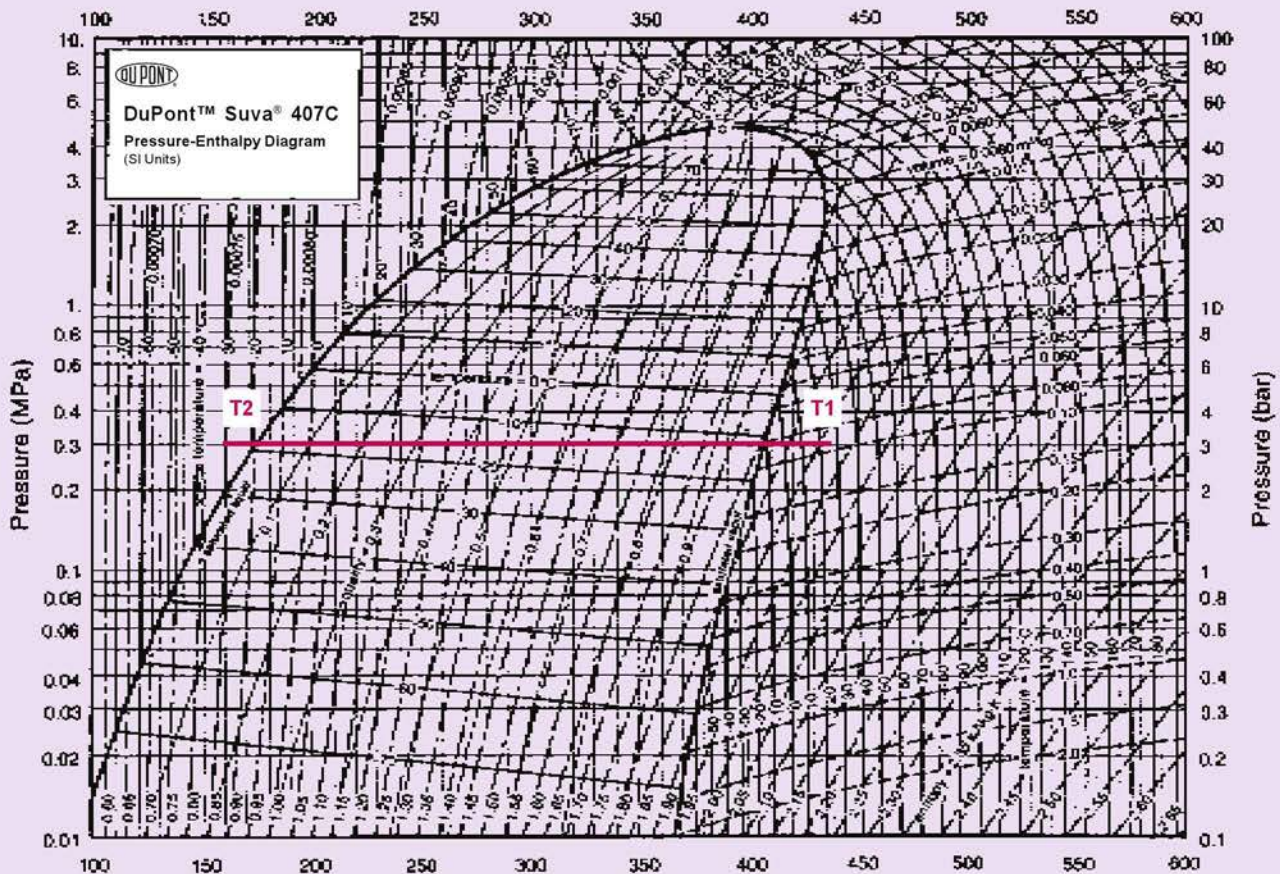


Figura 6.11. Diagrama p-h para el refrigerante R407C

rollado procedimientos para recuperar, reciclar y volver a utilizar los refrigerantes:

- **Recuperación.** Eliminar el refrigerante de un sistema y almacenarlo en un recipiente externo sin que sea necesario hacerle pruebas o procesarlo de cualquier manera.
- **Reciclado.** Limpiar el refrigerante para volver a utilizarlo, para lo cual hay que separar el aceite y pasarlo una o varias veces a través de determinados dispositivos, como filtros deshidratadores.
- **Reproceso.** Mediante el reproceso, el refrigerante recuperará las especificaciones de un producto nuevo. La maquinaria utilizada eliminará el aceite, el ácido, la humedad, componentes sólidos y el aire.

Puedes encontrar en el reglamento comunitario CE n.º 1005/2009 las normas para la adecuada manipulación de refrigerantes.

Siempre has de acudir a las fichas de seguridad para saber cómo manipular cualquier fluido frigorífero y saber cómo actuar durante su uso.

#### ■ SABÍAS QUE...

En cuanto a la prevención de fugas, se establece que todo equipo que tenga una carga refrigerante superior a 3 kg debe revisarse al menos una vez al año.

**Tabla 6.2.** Refrigerantes y sus sustitutos

Refrigerante	Aplicaciones	Sustitutos
<b>R11</b>	Aire acondicionado (A/A) en edificios y control de temperatura industrial.	R123
<b>R12</b>	Aire acondicionado (A/A) en edificios y control de temperatura industrial.	R134a
	Climatización en automóvil.	R134a
	Almacenaje frigorífico de alimentos frescos, sobre 0 °C.	R134a
	Transporte frigorífico.	R134a
	Refrigeración comercial a media temperatura.	R134a
<b>R13</b>	Muy baja temperatura.	R23
<b>R502</b>	Almacenamiento de alimentos congelados por debajo de -18 °C.	R507 R404A
	Transporte a baja temperatura.	R507 R404A
<b>R22</b>	Aire acondicionado (A/A) en edificios y control de temperatura industrial.	R427A
	Equipos de aire acondicionado.	R410A R407C R427A
	Frigoríficos domésticos, dispensadores de bebidas, almacenamiento frigorífico de alimentos frescos (no congelados) en restaurantes, frío comercial.	R134a
	Frío industrial: congelación y conservación. Refrigeración comercial de media a baja temperatura.	R404A R507
<b>R402A</b> <b>R402B</b>	Almacenamiento de alimentos congelados por debajo de -18 °C.	R404A R507
	Refrigeración comercial a media temperatura.	R134a
<b>R409</b>	Aire acondicionado (A/A) en edificios y control de temperatura industrial.	R407C
<b>R409A</b>	Almacenaje frigorífico de alimentos frescos sobre 0 °C.	R134a
	Frigoríficos domésticos, dispensadores de bebidas, almacenamiento frigorífico de alimentos frescos (no congelados) en restaurantes, frío comercial.	R134a
	Refrigeración comercial a media temperatura.	R134a

## 6.7. Lubricantes

En el compresor, existen piezas en movimiento que producen diferentes rozamientos entre superficies, lo que provoca importantes desgastes y aumentos de temperatura. Para evitar todo esto, se utiliza el aceite lubricante, que también actúa como inhibidor de la corrosión, reduce el nivel de ruido producido, evacúa virutas metálicas y actúa como sello de la comunicación del compresor entre la zona de alta y de baja presión.



**Figura 6.12.** Los aceites lubricantes circulan por el sistema de lubricación, llegando a los aros de engrase, las camisas, el cigüeñal, los cojinetes de la bancada, los cojinetes de la biela y las prensas.

En la refrigeración, se utilizan lubricantes que, inicialmente, podemos diferenciar en dos grupos:

- Aceites minerales.
- Aceites sintéticos.

Los aceites minerales son obtenidos de la refinación del petróleo y son los que se han utilizado en primer lugar. Para resolver los problemas de solubilidad de estos, han surgido otros aceites de tipo sintético que se obtienen a partir de reacciones químicas y entre los que podemos destacar:

- Lubricantes Alquibencénicos (AB).
- Lubricantes Poliéster (POE).
- Lubricantes Polialquilglicoles (PAG).

Y también mezclas de Alquibencénicos/Minerales (AB/MO).

Es importante que el aceite y el refrigerante sean miscibles para que no se acumulen en el condensador, lo que haría imposible su recuperación por parte del compresor y disminuiría la superficie del condensador.

En algunos casos, como el del amoníaco, es obligatoria la instalación de un separador de aceite.

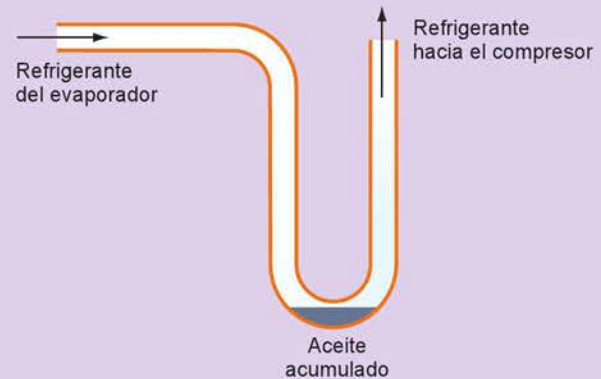
En el evaporador, el aceite se encuentra a baja temperatura, lo que aumenta su viscosidad y, por tanto, es más

difícil hacerlo fluir, de tal forma que ocupará un espacio en el evaporador y reducirá el rendimiento de la instalación.

Un diseño adecuado de la instalación y el uso de un lubricante compatible con la alta calidad contribuyen a evitar los efectos indeseables entre refrigerante, aceite y componentes del sistema.

#### SABÍAS QUE...

La utilización de un sifón en la tubería de aspiración proveniente del evaporador es un recurso sencillo y de bajo coste que reduce el diámetro y aumenta la velocidad del vapor refrigerante, lo que permite que el aceite retorne al compresor.



**Tabla 6.3.** Compatibilidad entre fluidos refrigerantes y aceites

	Mineral Oil (MO)	Alquibencenos (AB)	Minerales Alquibencénicos (M/A)	Poliéster (POE)	Polialquilglicoles (PAG)
CFC y HCFC	Compatible	Compatible	Compatible	Compatible	No compatible
HFC	No compatible	Con limitaciones	No compatible	Compatible	Con limitaciones
HC	Compatible	Compatible	Compatible	Compatible	Con limitaciones
NH <sub>3</sub>	Compatible	Con limitaciones	Con limitaciones	No compatible	Con limitaciones

- Un refrigerante es la sustancia que tiene la capacidad de transportar e intercambiar calor con el medio ambiente, cediéndolo a alta temperatura y absorbiéndolo a baja temperatura.
- Las principales características de un refrigerante son: temperatura de ebullición, volumen específico de vapor, calor latente de evaporación, temperatura y presión crítica, interacción con aceite y con el agua, temperatura y presión de condensación. Inflamabilidad, toxicidad, efectos sobre otros materiales y capacidad para detectar fugas.
- Algunos refrigerantes tienen un gran impacto ambiental y contribuyen a la destrucción de la capa de ozono y al efecto invernadero. Para medir el impacto en el medio ambiente, existen estos tres parámetros:
  - ODP: contribución de un gas a la destrucción de la capa de ozono.
  - GWP: contribución de una sustancia al efecto invernadero.
  - TEWI: impacto directo + impacto indirecto.
- Los refrigerantes se clasifican de acuerdo a su composición química en orgánicos (por ejemplo, el CFC) e inorgánicos (por ejemplo, el CO<sub>2</sub>) y de acuerdo a su seguridad en alta, media y baja seguridad en orden de menor a mayor inflamabilidad y toxicidad.
- Los refrigerantes se denominan por su fórmula o por su denominación química o, si procede, por su denominación simbólico alfanumérica. La denominación comercial será un complemento.
- Las mezclas de refrigerantes aparecen por la necesidad de sustituir los refrigerantes que producían problemas medioambientales y se clasifican en:
  - **Las mezclas azeotrópicas:** se comportan como refrigerantes puros.
  - **Las mezclas zeotrópicas:** hay diferentes temperaturas de punto de ebullición para los refrigerantes que componen la mezcla a presión constante.
- Los procesos para evitar la emisión a la atmósfera de los refrigerantes al finalizar su uso son:
  - Recuperación.
  - Reciclado.
  - Reproceso.
- El lubricante se utiliza para disminuir rozamientos, como inhibidor de la corrosión y como sellante entre la zona de alta y baja presión. Se clasifican en minerales y en sintéticos. Es importante tener en cuenta la miscibilidad entre lubricante y refrigerante.

## Enlaces web de interés

<http://www.dupont.com>

Fabricante de refrigerantes.

<http://www.kimikal.es>

Distribuidor de gases refrigerantes y materiales auxiliares para la refrigeración y aire acondicionado.

<http://www.boe.es>

En el Boletín Oficial del Estado, podrás encontrar el siguiente Real Decreto de aplicación a refrigerantes: RD795/2010, que regula la comercialización y manipulación de gases fluorados y equipos, así como la certificación de los profesionales que lo utilizan.

<http://www.carbuos.com>

Producción y estudio de gases.

## ■ Actividades de comprobación

- 6.1.** La temperatura y la presión de condensación de un refrigerante:
- Deben ser bajas para garantizar que la condensación pueda realizarse a temperatura ambiente.
  - Deben ser altas para garantizar que el rendimiento de la instalación sea lo más elevado posible.
  - Deben ser altas para reducir la presión de evaporación del refrigerante.
  - Ninguna de las anteriores es correcta.
- 6.2.** La destrucción de la capa de ozono es debida a:
- Los CFC.
  - Los compuestos inorgánicos.
  - Los HFC.
  - Ninguna de las anteriores es correcta.
- 6.3.** El indicador ODP mide:
- La destrucción de la capa de ozono.
  - La contribución de una sustancia al efecto invernadero.
  - El calentamiento global del planeta.
  - La contribución de una sustancia al efecto invernadero teniendo en cuenta el CO<sub>2</sub> emitido a la atmósfera para la producción de la energía eléctrica consumida.
- 6.4.** El indicador TEWI es la suma de:
- La contribución al efecto invernadero y la destrucción de la capa de ozono.
  - La destrucción de la capa de ozono y la producción de CO<sub>2</sub> debido al consumo de energía.
  - La contribución al efecto invernadero y la producción de CO<sub>2</sub> debido al consumo de energía.
  - La destrucción de la capa de ozono y el calentamiento global del planeta.
- 6.5.** Los aceites utilizados para lubricar los compresores:
- Son compatibles con todos los gases refrigerantes.
  - Son específicos para las distintas familias de gases refrigerantes.
  - Son de corta duración y deben ser cambiados periódicamente.
  - Ninguna de las anteriores es correcta.
- 6.6.** El valor de ODP más bajo lo tiene el refrigerante:
- R12.
  - R408A.
  - R134a.
  - R503.
- 6.7.** Señala la respuesta correcta:
- Al grupo de alta seguridad pertenecen los refrigerantes inflamables o explosivos.
  - Al grupo de baja seguridad pertenecen los refrigerantes no inflamables o explosivos.
  - Al grupo de media seguridad pertenecen los refrigerantes de inflamables o explosivos mezclados con aire en un porcentaje en volumen igual o superior al 5 %.
  - Al grupo de media seguridad pertenecen los refrigerantes de inflamables o explosivos mezclados con aire en un porcentaje en volumen igual o superior al 3,5 %.
- 6.8.** Las mezclas no azeotrópicas utilizan la numeración de la:
- Serie 400.
  - Serie 500.
  - Serie 600.
  - Serie 700.
- 6.9.** El deslizamiento es:
- La variación de volumen debido a las distintas volatilidades de los distintos componentes que forman una mezcla.
  - La variación de temperatura debido a las distintas volatilidades de los distintos componentes que forman una mezcla.
  - La diferencia entre la temperatura de condensación y la de evaporación.
  - Ninguna es correcta.
- 6.10.** En la denominación alfanumérica de los refrigerantes, si el compuesto carece de bromo, la primera cifra a la derecha representa:
- El número de átomos de hidrógeno más 1.
  - El número de átomos de carbono menos 1.
  - El número de átomos de flúor.
  - El número de enlaces de carbono no saturados.



## ■ Actividades de aplicación

- 6.11.** Describe cómo afecta el uso de refrigerantes en el deterioro del medio ambiente.
- 6.12.** Explica cómo se nombran las mezclas azeotrópicas y zeotrópicas.
- 6.13.** Describe cómo debe ser la presión en un circuito refrigerante y qué sucede cuando la presión es menor que la atmosférica.
- 6.14.** Clasifica los siguientes refrigerantes: R134a, R407C, R507 y R744.
- 6.15.** Un instalador llega a una empresa que le ha solicitado la reparación de un equipo que lleva mucho tiempo sin usarse. Comprueba la instalación y descubre que el refrigerante que utilizaba era el R12.
- Indica qué debe hacer y por qué refrigerante puede sustituirlo.
  - En cuanto a la carga, menciona si debería tener alguna precaución especial.
- 6.16.** Define qué es el ODP, cómo ha afectado a los refrigerantes y qué otros factores deben tenerse en consideración.
- 6.17.** Enumera las razones por las que debemos detectar las fugas.
- 6.18.** En una instalación que utiliza R407C, se sabe que la presión de evaporación es de 3,5 bar. Calcula:
- La temperatura de rocío.
  - La temperatura de burbuja.
  - El deslizamiento.
- 6.19.** Señala la denominación alfanumérica de los siguientes refrigerantes:
- $\text{NH}_3$  (PM 17).
  - $\text{C Br Cl F}_2$ .
  - $\text{C H F}_2 \text{ CH}_3$ .
  - $\text{C Cl}_2 \text{ F C Cl F}_2$ .
- 6.20.** Nombra los dos motivos fundamentales por los que debemos eliminar la humedad en un sistema de refrigeración.
- 6.21.** Indica qué tipos de lubricantes existen y cuáles son compatibles con los refrigerantes CFC. Pon algún ejemplo.
- 6.22.** El agua es un fluido que puede emplearse para refrigeración. Tiene las siguientes características:
- Temperatura de congelación  $0^\circ\text{C}$ .
  - Temperatura de ebullición  $100^\circ\text{C}$  a nivel del mar.
  - Temperatura crítica  $374^\circ\text{C}$ .
- Explica las razones por las que no suele utilizarse como refrigerante.

## ■ Actividades de ampliación

- 6.23.** Como sabes, hay una serie de refrigerantes que se han prohibido y han sido sustituidos por otros considerados como definitivos. En internet, puedes encontrar empresas que se dedican a la distribución de refrigerantes y que proporcionan información útil sobre ellos (<http://www.kimikal.es> o <http://www.carbuos.com>). Consultando las páginas anteriores, realiza un pequeño informe sobre:
- Las características y las propiedades de los refrigerantes.
  - Sus aplicaciones.
  - Los lubricantes compatibles.
- 6.24.** Una de las formas de ver las características de un refrigerante es con la regla del frigorista. Así podemos ver con rapidez la presión que corresponde con una determinada temperatura para cada refrigerante. Son muy útiles para que los instaladores sepan si las presiones y las temperaturas que están utilizando son las adecuadas. Navega por [http://www2.dupont.com/Refrigerants/es\\_ES](http://www2.dupont.com/Refrigerants/es_ES) y consulta las distintas tablas de propiedades de los refrigerantes, así como las fichas de datos de seguridad. Elabora un resumen sobre lo encontrado.

### Actividades de comprobación

6.25. En el reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas, aparece la clasificación de refrigerantes. Veamos algunos de los datos que aparecen:

Refrigerante N.º	Denominación	Fórmula	Grupo de seguridad	Límites de inflamabilidad		Potencial de calentamiento atmosférico	Potencial de agotamiento de la capa de ozono
				Límite inferior kg/m <sup>3</sup>	Límite superior kg/m <sup>3</sup>		
R12	Diclorodifluorometano	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	L1	-	-	8.100	1
R115	2-Cloro-1,1,1,2,2-pentafluoretano	CF <sub>3</sub> CClF <sub>2</sub>	L1	-	-	7.200	0.6
R124	2-Cloro-1,1,1,2-tetrafluoretano	CF <sub>3</sub> CHClF	L1	-	-	470	0,022
R125	Pentafluoretano	CF <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>	L1	-	-	2.800	0
R507A	R125/143a (50/50)	CF <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub> + CF <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	L1	-	-	3.300	0
R744	Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	L1	-	-	1	0
R404A	R125/143a/134a (44/52/4)	CF <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub> + CF <sub>3</sub> CH <sub>3</sub> + CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F	L1	-	-	3.260	0
R152a	1,1-Difluoretano	CHF <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	L2	0,137	0,462	140	0
R717	Amoniaco	NH <sub>3</sub>	L2	0,104	0,195	0	0
R600a	Isobutano	CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	L3	0,043	0,202	3	0

Responde a las siguientes cuestiones a partir de los datos mostrados en la tabla anterior:

- ¿Cuál o cuáles de los anteriores refrigerantes tienen mayor capacidad de destrucción de la capa de ozono?
- ¿Cuál o cuáles de los anteriores refrigerantes contribuyen en mayor medida al efecto invernadero? ¿Qué coeficiente está reemplazando al GWP?
- Clasifica los anteriores refrigerantes en orgánicos o inorgánicos.
- ¿Cuál o cuáles de los anteriores refrigerantes tienen mayor capacidad para ser inflamables o explosivos? ¿A qué grupo de seguridad pertenecen?
- ¿Cuál de los refrigerantes es una mezcla azeotrópica? Indica por qué refrigerantes está formado y en qué proporciones.
- ¿Cuál de los refrigerantes es una mezcla zeotrópica? Menciona por qué refrigerantes está formado y en qué proporciones.

# El evaporador y el condensador



Evaporadores y condensadores son intercambiadores de calor del circuito frigorífico, en ambos se produce transferencia de calor y, como consecuencia, el refrigerante que circula por su interior cambia de estado, de ahí procede el nombre que reciben. Una propiedad importante de los materiales con los que están fabricados es la conductividad térmica, es decir, ser buenos conductores del calor y facilitar el mayor intercambio de calor posible.

Durante la unidad didáctica, veremos que existen diferentes tipos dependiendo del lugar en el que estén ubicados, el medio con el que intercambien calor o sus elementos constructivos.

# 7

## Contenidos

- 7.1. ¿Qué función tiene el evaporador?
- 7.2. Clasificación de los evaporadores
- 7.3. Selección del evaporador
- 7.4. Sistemas de desescarche
- 7.5. ¿Qué función tiene el condensador?
- 7.6. Clasificación de los condensadores
- 7.7. Selección del condensador
- Resumen
- Actividades finales

## Objetivos

- Explicar la función que tienen evaporadores y condensadores en los sistemas de refrigeración.
- Describir los elementos que componen el evaporador y el condensador.
- Identificar los distintos tipos de evaporadores y condensadores.
- Conocer los distintos sistemas de desescarche existentes.
- Describir función y elementos de una torre de refrigeración.

## 7.1. ¿Qué función tiene el evaporador?

El evaporador es un **intercambiador de calor** cuya función es la de **absorber el calor** del medio a refrigerar. El refrigerante, a su paso por el evaporador, va absorbiendo calor y cambiando de estado, de tal forma que entra procedente del expansor en estado de mezcla líquido-vapor y sale hacia el compresor en estado de vapor sobrecalentado. De acuerdo con esto y fijándonos en la Figura 7.1., podemos dividir el evaporador en dos tramos:

- **Un tramo de calor latente.** El refrigerante que sale del expansor como mezcla de líquido-vapor finaliza el cambio de estado pasando a vapor saturado.
- **Un tramo de calor sensible.** En el que el refrigerante en estado vapor continúa absorbiendo calor y, finalmente, sale en estado de vapor sobrecalentado. Se ha realizado un recalentamiento evitando de esta forma la llegada de líquido al compresor y el tan temido golpe de líquido.



Figura 7.1. Evaporador

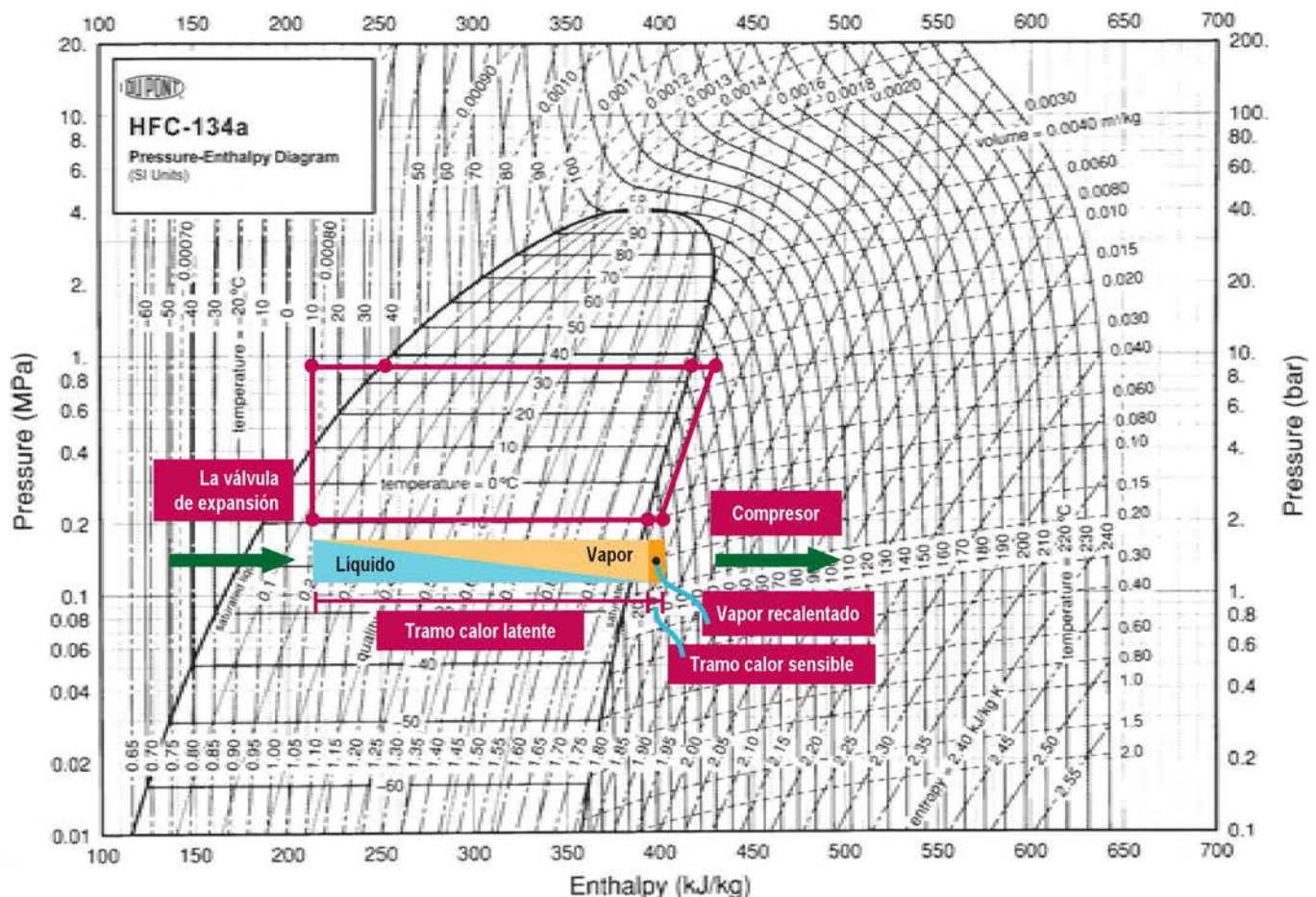


Figura 7.2. Representación de los dos tramos de calor en el evaporador

### RECUERDA

Cuando la energía térmica se emplea para cambiar de estado, se denomina *calor latente* y, cuando se emplea para incrementar la temperatura, se denomina *calor sensible*.

La cantidad de calor que puede absorber el evaporador depende de:

- **La superficie de intercambio de calor.** Cuanto mayor sea esta, mayor intercambio de calor tendremos. Por lo tanto, tratarán de evitarse situaciones en las que esta superficie disminuya, como pueden ser: la formación de escarcha (se verá en el Apartado 7.4.), la suciedad que se acumule sobre la superficie o la colocación de aceite sobre las paredes.
- **El coeficiente de transmisión del calor del material.** Mientras mayor sea, mayor será el intercambio de calor.
- **La diferencia de temperaturas entre el medio a refrigerar y el fluido refrigerante.** Cuanto mayor sea esta, mayor será el intercambio de calor.

Por tanto, la cantidad de calor será:

$$Q = S \times K \times \Delta T$$

Siendo  $Q$  la capacidad del evaporador (kcal/h),  $S$  la superficie de intercambio de calor ( $m^2$ ),  $K$  el coeficiente de

### SABÍAS QUE...

En caso de que el refrigerante del evaporador intercambie calor con el aire que circula a su alrededor sin ningún medio mecánico que lo impulse, diremos que es un evaporador por **convección natural**. Por el contrario, si cuenta con un ventilador que propague ese aire, diremos que es un evaporador por **circulación forzada**.

### SABÍAS QUE...

El salto térmico varía en función del fluido a enfriar (agua o aire) y del tipo de evaporador que se emplee.

Si el fluido a enfriar es líquido, la diferencia es de alrededor de  $5^\circ C$ . Si el fluido es aire, está entre  $5$  y  $8^\circ C$  para evaporadores por circulación forzada y entre  $8$  y  $12^\circ C$  para evaporadores por convección natural.

En las cámaras de conservación de alimentos, debe tenerse en cuenta el porcentaje de humedad relativa ya que cada alimento se conserva a una humedad distinta y el incremento de temperatura varía con la humedad.

transmisión del calor del material ( $kcal/h\ m^2\ ^\circ C$ ) y  $\Delta T$  la diferencia de temperaturas entre el medio a refrigerar y el fluido refrigerante ( $^\circ C$ ).

### Actividad resuelta

- 7.1.** En una instalación frigorífica para productos frescos, contamos con un evaporador de circulación natural del cual conocemos los siguientes datos: el coeficiente de transmisión del calor es de  $6\ kcal/h\ m^2\ ^\circ C$ , la temperatura de evaporación del refrigerante es de  $-10^\circ C$ , la temperatura de la instalación es de  $0^\circ C$  y la superficie del evaporador es de  $8\ m^2$ . Calcula la cantidad de calor que tiene que absorber el evaporador.

#### Solución:

La diferencia de temperaturas entre el medio a refrigerar y el fluido refrigerante es:

$$\Delta T = 0 - (-10) = 10^\circ C$$

A partir de la fórmula de capacidad, podemos hallar la cantidad de calor que tiene que absorber el evaporador.

$$Q = S \times K \times \Delta T = 8 \times 6 \times 10 = 480\ kcal/h$$

### Actividad propuesta

- 7.1.** En una cámara frigorífica para conservación de productos congelados, hemos seleccionado un evaporador cuya capacidad es de  $5.000\ kcal/h$  y su coeficiente de transmisión del calor es de  $8\ kcal/h\ m^2\ ^\circ C$ . La temperatura de evaporación del refrigerante es de  $-30^\circ C$  y la temperatura de la cámara, de  $-25^\circ C$ .

- Explica en qué tramos puede dividirse el evaporador.
- Calcula la superficie del evaporador.
- Indica de qué factores depende la capacidad del evaporador.



### Actividad propuesta

7.2. Calcula el coeficiente de transmisión del calor de un evaporador de circulación forzada conociendo los siguientes datos:

- Capacidad: 10.000 kcal/h.
- Temperatura de evaporación del refrigerante: 3 °C.
- Temperatura en el recinto a refrigerar: 20 °C.
- Superficie del evaporador: 16 m<sup>2</sup>.

## 7.2. Clasificación de los evaporadores

Existen muchos tipos y formas de evaporadores, además de múltiples aplicaciones, por lo que es difícil dar una sola catalogación. A continuación, vamos a estudiar las clasificaciones más significativas:

### 1. Según su constitución física.

- **Evaporadores de placas.** Están formados por placas de acero inoxidable y bastidor de acero al carbono. Se emplean para enfriar líquidos.
- **Evaporadores de tubo liso.** Están constituidos por tubos de acero o de cobre. El acero se utiliza en evaporadores de mayor tamaño y que utilizan amoníaco como refrigerante. El cobre se utiliza en evaporadores más pequeños y que utilizan fluidos cloro fluorados. Los tubos pueden tener forma de zigzag o en espiral.
- **Evaporadores de tubo con aletas.** Son iguales que los de tubo liso, pero se les añaden unas placas me-

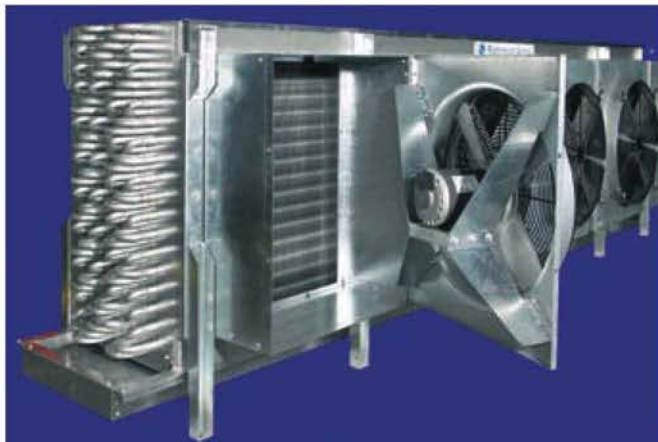


Figura 7.3. Evaporador de aire de tubo con aletas y ventilación forzada (cortesía de Baltimore Air Coil)

tálicas, que son las aletas. Estas permiten aumentar la superficie de intercambio de calor. El material de las aletas suele ser de aluminio en caso de que la tubería sea de cobre. Estos evaporadores ocupan menos espacio que los de tubo liso ya que las aletas permiten aumentar la superficie de intercambio de calor. La separación entre aletas depende de la aplicación que se dé al evaporador y las establece el fabricante. Así pues, si se utilizan en aplicaciones con riesgo de formación de escarcha, véase cámaras que trabajan a temperaturas bajo 0 °C, la separación entre las aletas tiene que ser mayor que si se trabaja a temperaturas positivas.

### SABÍAS QUE...

En los catálogos de los fabricantes, se indica la aplicación de un evaporador dependiendo de la separación entre las aletas. Puedes obtener más información sobre ello en la página web del fabricante FRIMETAL.

Temperatura cámara	Separación aletas	Aplicación habitual
10 °C	De 2,8 a 4,2 mm	Género fresco delicado, pasillos y salas de trabajo.
0/2 °C	De 3,5 a 6 mm	Conservación de género fresco.
-18/-25 °C	De 6 a 9 mm	Conservación de productos congelados.
-40 °C	De 9 a 12 mm	Túneles de congelación rápida.

### 2. Según el fluido a enfriar.

- **Evaporadores de aire.** Podemos tener de convección natural o forzada. Cuando los tubos son con aletas, normalmente, se utiliza ventilación forzada para mejorar el intercambio de calor. La ventilación forzada se utiliza en aplicaciones como las cámaras de congelados en las que queremos mantener altas humedades.
- **Evaporadores de agua.** Los hay a contracorriente y multitubulares. Veremos estos tipos más en detalle para el condensador ya que el principio es el mismo.

### 3. Según el estado del refrigerante en el interior del evaporador.

- **Evaporadores secos.** El refrigerante cambia de estado durante el recorrido del evaporador y sale en estado de vapor sobrecalentado. Se requiere

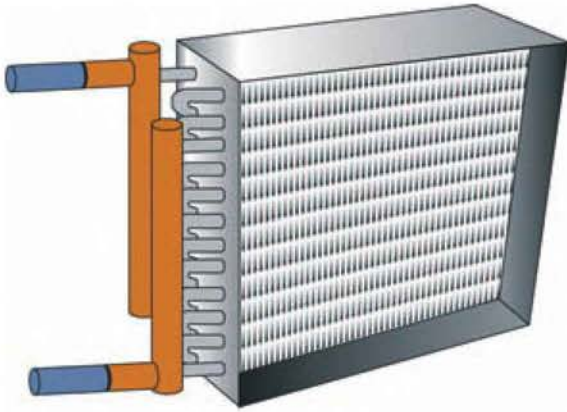


Figura 7.4. Evaporador de aire con ventilación natural

entre un 10 y un 20 % de la superficie final del evaporador para realizar el recalentamiento.

- **Evaporadores inundados.** En ellos, el refrigerante entra en estado líquido y sale del evaporador como mezcla de líquido-vapor, aunque con un gran porcentaje de líquido, por ello es necesario que, a la salida del evaporador, se coloque un separador de líquido que permita separar el vapor que continúa hacia el compresor sin riesgo de golpe de líquido. En este caso, el rendimiento de los evaporadores es mayor ya que la capacidad de absorber calor en forma de calor latente es mayor, aunque sus costes son mayores.

### SABÍAS QUE...

En evaporadores secos, el dispositivo de expansión es una válvula termostática, mientras que, para los evaporadores inundados, es de flotación.

#### 4. Según el espacio en el que se realice la evaporación.

- **De expansión directa.** En este caso, es el refrigerante que circula por el circuito frigorífico el encargado de absorber el calor y, por tanto, estará en contacto con el espacio a refrigerar.
- **De expansión indirecta.** En este caso, el refrigerante no está en contacto con el fluido del espacio a refrigerar, sino que tendremos un fluido secundario que, en la mayoría de los casos, se tratará de agua. Este tipo de evaporadores se utilizan cuando la distancia que tiene que recorrer el refrigerante a través de las tuberías es muy grande, con el consiguiente aumento del riesgo de averías (más fáciles de solucionar en caso de que tengamos agua) y de los costes debido al aumento de la cantidad de refrigerante en la instalación.

### 7.3. Selección del evaporador

Para elegir el evaporador más adecuado para nuestra instalación, seguiremos una serie de pasos:

- Calcular la capacidad del evaporador, es decir, la cantidad de calor que va a absorber el evaporador, tal y como se ha explicado en el primer apartado de la unidad didáctica.
- Calcular la capacidad nominal. Se trata de corregir la capacidad calculada con un factor de corrección que proporcionan los fabricantes mediante tablas. Este factor tiene en cuenta las pérdidas que se producen en los periodos de desescarche de los evaporadores.

$$Q_n = Q/f$$

Donde  $Q$  es la capacidad en condiciones dadas (kcal/h),  $Q_n$  es la capacidad nominal obtenida de tablas (kcal/h) y  $f$  es el factor de corrección (Figura 7.5.).

El factor de corrección depende de la temperatura de evaporación y del diferencial de temperaturas. Por ejemplo, fijándonos en la Figura 7.5., para una temperatura de evaporación de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  y una diferencia de temperaturas entre el espacio a climatizar y el evaporador de  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , obtendremos un factor de corrección de 0,8.

### SABÍAS QUE...

Cuando las caídas de presión en el evaporador son elevadas, estas se minimizan dividiendo los evaporados en tubos paralelos. Para alimentar estos tubos, es necesario un distribuidor y un colector para recoger el refrigerante de los circuitos.



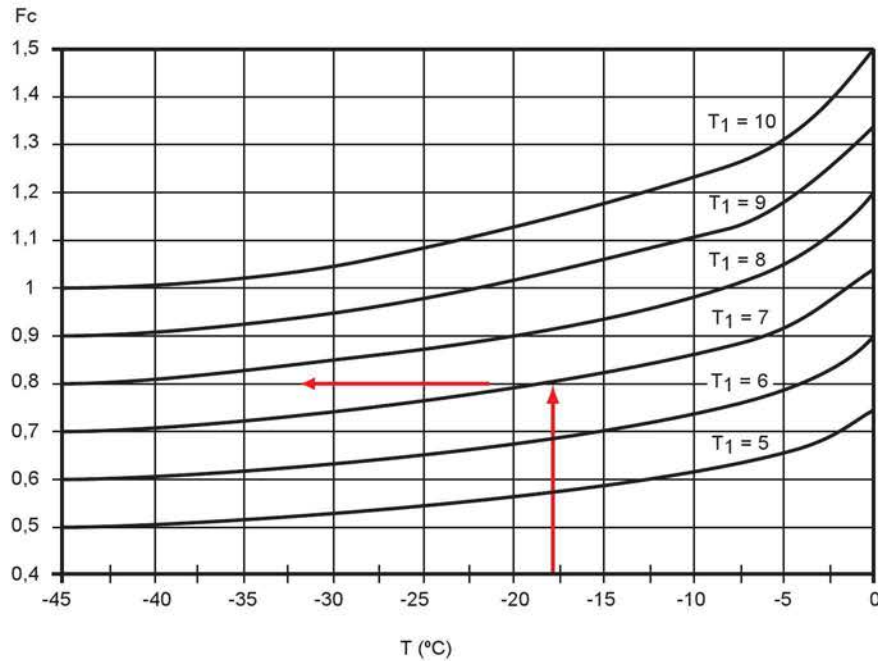


Figura 7.5. Gráfica de factor de corrección

## Actividad resuelta

7.2. Calcula la capacidad nominal de un evaporador para una cámara de productos congelados sabiendo que trabaja con las siguientes condiciones de trabajo:

- Capacidad: 8.000 kcal/h.
- Temperatura de la cámara: -30 °C.
- Temperatura de evaporación: -35 °C.
- Utiliza para ello la gráfica de la Figura 7.5.

**Solución:**

La diferencia de temperaturas entre el medio a refrigerar y el fluido refrigerante es de:

$$\Delta T = -30 - (-35) = 5 \text{ °C}$$

El factor de corrección, empleando la gráfica, será de 0,51.

La capacidad nominal será de  $Q_n = Q/f = 8.000/0,51 = 15.686,27 \text{ kcal/h}$ .

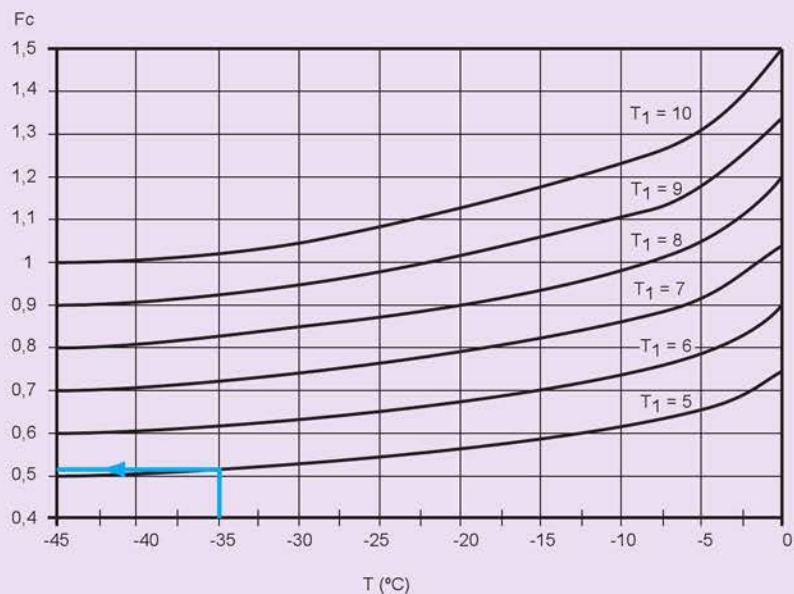


Figura 7.6. Gráfica de factor de corrección



### Actividad propuesta

7.3. Calcula el factor de corrección de un evaporador para una cámara de productos frescos sabiendo que trabaja con las siguientes condiciones de trabajo:

- Temperatura de la cámara: 0 °C.
- Temperatura de evaporación: -10 °C.
- Utiliza para ello la gráfica de la Figura 7.5.

### Actividad propuesta

7.4. En una instalación, contamos con un evaporador de circulación forzada que trabaja con una T.<sup>a</sup> de evaporación de -25 °C, un  $\Delta T$  de 8 °C y tiene una capacidad de 4.000 kcal/h. Calcula su capacidad nominal para los dos supuestos siguientes: que el  $\Delta T$  sea de 10 °C y que sea de 6 °C. Utiliza para ello la gráfica de la Figura 7.5.

### Actividad propuesta

7.5. Si observas la gráfica de la Figura 7.5., al aumentar la diferencia de temperaturas entre la cámara y el evaporador, disminuye la potencia. Explica por qué ocurre esto.

## 7.4. Sistemas de desescarche

El aire contiene vapor de agua que, al entrar en contacto con una superficie a temperaturas próximas a 0 °C, forma escarcha. Esto es lo que ocurre en los tubos de los evaporadores que trabajan con temperaturas de evaporación negativas. El aire con contenido en agua, al pasar impulsado por el ventilador, llega al serpentín del evaporador, donde se depositan gotas de agua que, debido a la temperatura del refrigerante, pasan a ser escarcha.

La escarcha afecta negativamente al rendimiento del evaporador por las razones siguientes:

- Actúa de aislante sobre el evaporador, lo cual hace que el refrigerante no se enfríe hasta la temperatura de evaporación y pueda llegar líquido al compresor.
- Al no enfriarse el refrigerante suficientemente, hace que aumenten los ciclos de trabajo y el compresor tenga que funcionar durante más tiempo cada ciclo.
- La acumulación de escarcha en las aletas puede provocar deterioros en las mismas.

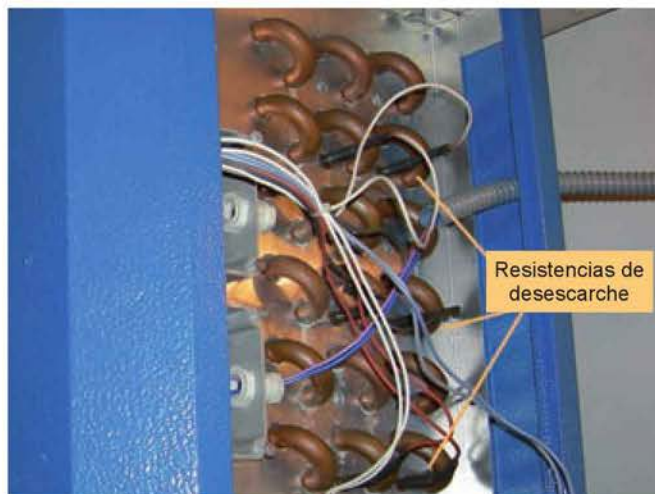


Figura 7.7. Resistencias de desescarche

### SABÍAS QUE...

Puesto que, durante el proceso de desescarche por resistencias eléctricas, la máquina se encuentra parada, el refrigerante del evaporador aumentará la presión al aplicarle calor. Para que no se produzca una sobrecarga del motor al arrancar la máquina, se coloca un regulador de presión a la entrada del compresor.



La primera pregunta que debemos plantearnos es **¿qué es el desescarche?** La respuesta es sencilla: la eliminación de la escarcha. La escarcha puede ser eliminada por los métodos que se muestran en el esquema de la Figura 7.8. y que, a continuación, veremos con más detalle.



Figura 7.8. Tipos de desescarche

### 1. Por agua.

- Consiste en pulverizar agua sobre el evaporador. Al entrar en contacto con el hielo, este se deshace y cae sobre una bandeja para, posteriormente, enviarlo, ya en forma de agua, a un desagüe.
- Durante el desescarche, la máquina se encuentra parada, se para el ventilador y se corta el paso de refrigerante. No puede ponerse en marcha hasta que no se ha eliminado toda el agua.
- Es el tipo menos usado.

### 2. Por resistencias eléctricas.

- Consiste en calentar el evaporador mediante resistencias eléctricas en contacto con las aletas del evaporador.
- Cuenta con un temporizador para controlar los periodos de desescarche.

- El agua de la fusión del hielo cae en una bandeja que, después, será enviada hacia el desagüe. En caso de que se trabaje con temperaturas negativas, la bandeja y el desagüe llevan resistencias eléctricas para evitar la congelación.

### 3. Por gases calientes.

- Consiste en descargar el refrigerante en estado vapor sobrecalentado en el evaporador para realizar el desescarche. Para ello, se coloca una tubería llamada *línea de desescarche* (Figura 7.9.).
- El inconveniente de este método es que el evaporador pasa a funcionar como un condensador, con lo que, a la salida, tendremos refrigerante en estado líquido que puede llegar al compresor. Para evitarlo, puede colocarse una botella de aspiración que evapore el refrigerante antes de llegar al compresor. Otra solución es, en instalaciones con varios eva-

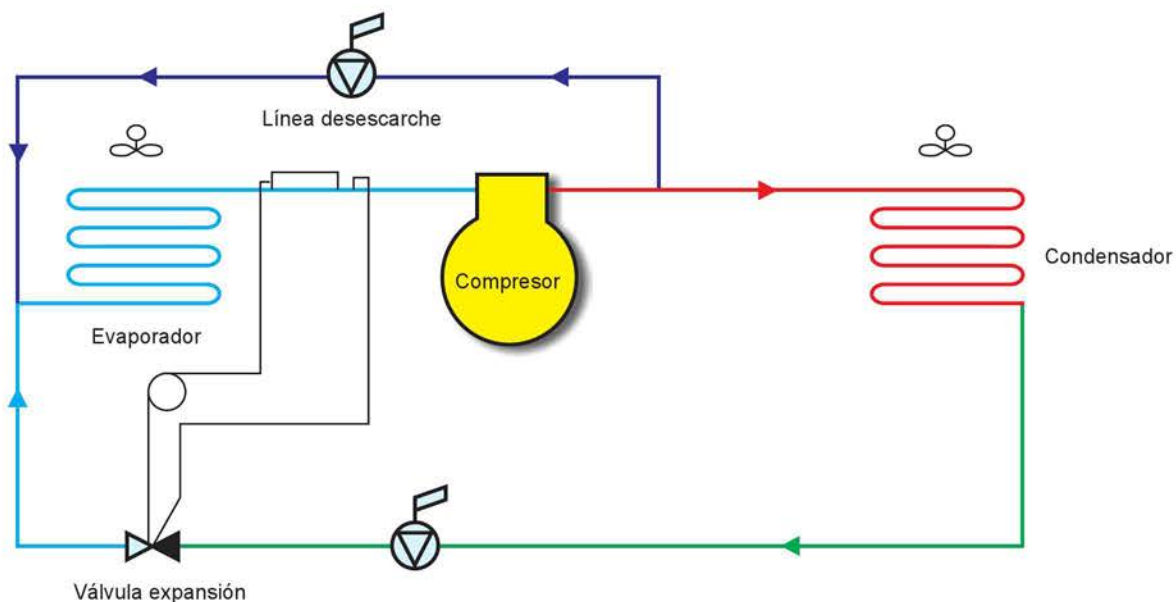


Figura 7.9. Circuito de desescarche por gases calientes

poradores, conectar los evaporadores entre sí, de tal forma que el refrigerante en estado líquido del evaporador de desescarche se envíe al siguiente evaporador y que, finalmente, salga en estado vapor.

### 4. Por inversión de ciclo.

- Consiste en invertir el ciclo de funcionamiento, es decir, que el evaporador pasa a ser condensador, y viceversa, durante el periodo de desescarche. Para ello, suele utilizarse una válvula de cuatro vías.
- El único dato a destacar es que son necesarias dos válvulas de expansión y otras dos válvulas antirretorno, como puede ser observado en el circuito de la Figura 7.11.



Figura 7.10. Válvula de cuatro vías

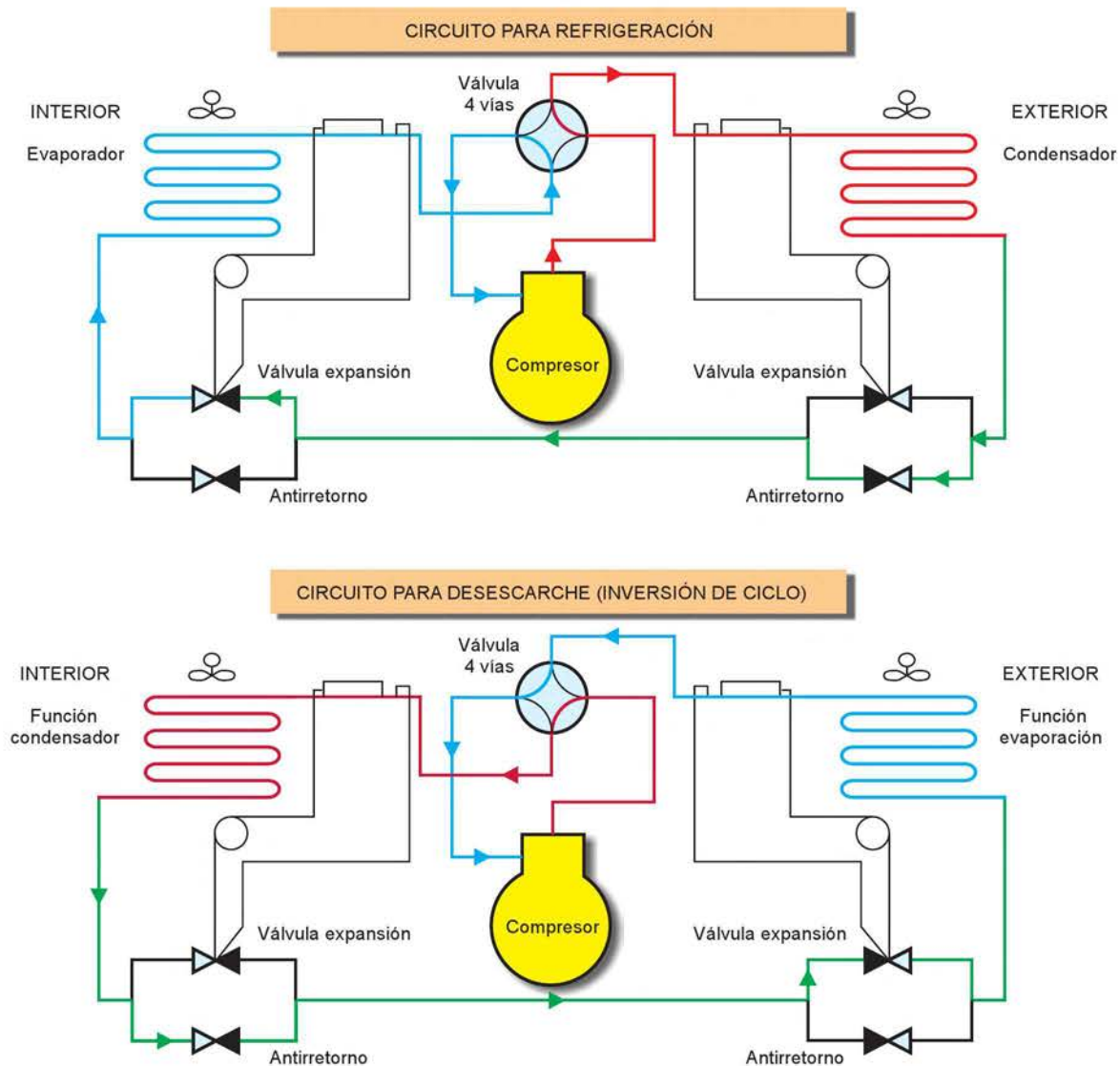


Figura 7.11. Circuito para refrigeración y desescarche por inversión de ciclo

### Actividad propuesta

- 7.6. Busca en el catálogo del fabricante de evaporadores FRIMETAL los distintos tipos de resistencias que pueden utilizarse para realizar el desescarche por resistencias eléctricas.  
La página web es <http://www.frimetal.es>.

## 7.5. ¿Qué función tiene el condensador?

El condensador es un intercambiador de calor que se encarga de ceder el calor que se ha ido incorporando al refrigerante durante su recorrido por el circuito, el absorbido en el evaporador, el aportado en forma de trabajo durante la compresión y el incorporado durante las conducciones, al medio condensante, que puede ser agua o aire.

Este proceso de transferencia implica un cambio de fase del refrigerante. A medida que el refrigerante va atravesando

el condensador, va cediendo calor al medio de enfriamiento, de tal forma que el refrigerante que entra en el condensador, procedente del compresor, en forma de vapor sobrecalentado cambiará de estado y, finalmente, saldrá hacia el expansor en forma de líquido subenfriado o de líquido saturado. Teniendo esto en cuenta, encontramos en el condensador tres tramos diferenciados:

- **Tramo de calor sensible del vapor.** El refrigerante procedente del compresor en estado vapor sobrecalentado va cediendo calor hasta llegar a vapor saturado a la temperatura de condensación.
- **Tramo de calor latente.** El refrigerante cambia de estado pasando a líquido saturado.
- **Tramo de calor sensible del líquido.** El refrigerante en estado líquido continúa cediendo calor y, finalmente, sale en estado de líquido subenfriado.

La cantidad de calor que cede el condensador (capacidad del condensador) es:

$$Q = S \times K \times \Delta T$$

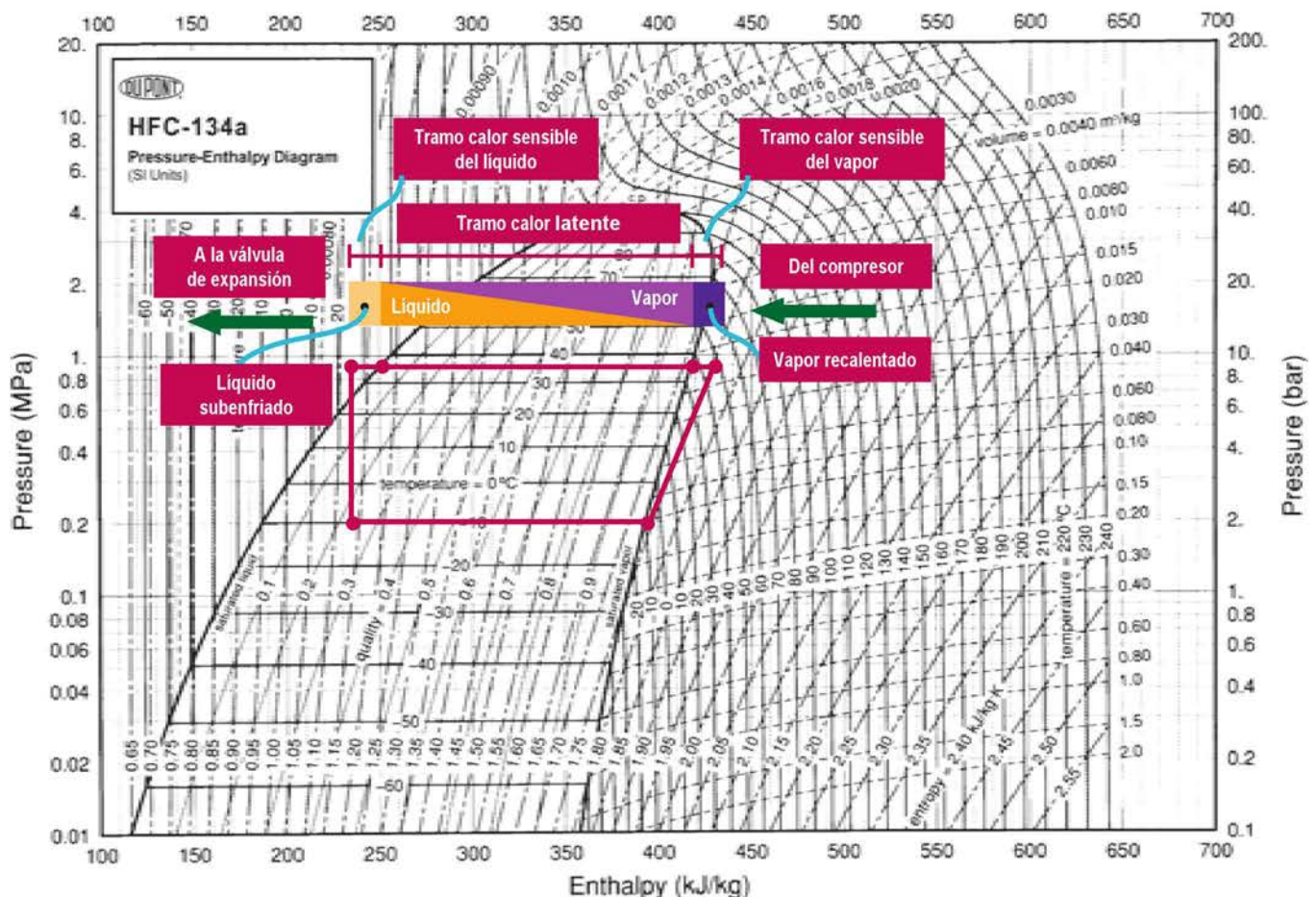


Figura 7.12. Representación de los tres tramos de calor en el condensador

Siendo  $Q$  la capacidad del condensador (kcal/h),  $S$  la superficie de intercambio de calor ( $m^2$ ),  $K$  el coeficiente de transmisión del calor del material ( $kcal/h\ m^2\ ^\circ C$ ) y  $\Delta T$  la diferencia de temperaturas entre el fluido refrigerante y el medio condensante ( $^\circ C$ ).

### SABÍAS QUE...

Según el RSF (Reglamento de Seguridad de Plantas e Instalaciones Frigoríficas), el condensador es un intercambiador de calor dispuesto para pasar el estado líquido de un refrigerante a gaseoso comprimido por cesión de calor a un medio distinto del refrigerante circulado.

### SABÍAS QUE...

El salto térmico varía en función del medio condensante (agua o aire) y del tipo de condensador que se emplee.

Si el fluido condensante es líquido, la diferencia es de alrededor de  $10\ ^\circ C$ . Si es una torre de refrigeración, alrededor de  $5-6\ ^\circ C$ . Por último, si el fluido es aire, está alrededor de  $15\ ^\circ C$ .

### Actividad resuelta

**7.3.** En una instalación frigorífica, contamos con un condensador de circulación natural del cual conocemos los siguientes datos: coeficiente de transmisión del calor de  $7\ kcal/h\ m^2\ ^\circ C$ , temperatura de condensación del refrigerante de  $36\ ^\circ C$ , temperatura del agente condensante de  $20\ ^\circ C$  y superficie del condensador de  $10\ m^2$ . Calcula la capacidad del condensador.

#### Solución:

La diferencia de temperaturas entre el fluido refrigerante y el medio condensante es:

$$\Delta T = 36 - 20 = 16\ ^\circ C$$

A partir de la fórmula de capacidad, podemos hallar la cantidad de calor que cede el condensador.

$$Q = S \times K \times \Delta T = 10 \times 7 \times 16 = 1.120\ kcal/h$$

### Actividad propuesta

**7.7.** En una cámara frigorífica, hemos seleccionado un condensador cuya capacidad es  $2.000\ kcal/h$  y su coeficiente de transmisión del calor es de  $8\ kcal/h\ m^2\ ^\circ C$ . La temperatura de condensación del refrigerante es de  $35\ ^\circ C$  y la temperatura del medio condensante es de  $18\ ^\circ C$ .

- Calcula la superficie del condensador.
- Indica de qué factores depende la capacidad del condensador.

## 7.6. Clasificación de los condensadores

Al igual que sucedió con los evaporadores, existen en el mercado diferentes tipos y formas de condensadores. Atendiendo al fluido condensante empleado para enfriarlo, podemos clasificarlos en: enfriados por aire, enfriados por agua y evaporativos (mixtos aire-agua). A continuación, vamos a estudiar en detalle cada uno de ellos.

### 7.6.1. Condensadores enfriados por aire

En estos, el fluido refrigerante cede su calor al aire, pudiendo ser por convección natural cuando el aire en contacto con los tubos se calienta, creando una corriente de ascensión que retira el calor del condensador. Su utilización está limitada a equipos de poca potencia, como, por ejemplo, electrodomésticos.

También puede ceder el calor por convección forzada cuando el aire es impulsado por uno o varios ventiladores. Estos son los condensadores que se utilizan con más frecuencia en instalaciones modernas.



Figura 7.13. Condensador de frigorífico doméstico

Al igual que vimos en el evaporador, en el condensador, los tubos que forman el serpentín pueden ser de cobre lisos o llevar incorporadas **aletas** de aluminio para aumentar la superficie de intercambio de calor. Estos condensadores ocupan menos espacio que los de tubo liso. También podemos encontrar condensadores de **placas** en las que los tubos van unidos a una fina chapa de hierro provista de ranuras.

### SABÍAS QUE...

En relación al mantenimiento de los condensadores con aletas, hay que procurar mantener limpio el espacio entre estas ya que la suciedad disminuye la superficie de transmisión de calor. También debe evitarse que entren en contacto y, para ello, se recurre a peines separadores.

Los condensadores con tubos lisos se emplean en instalaciones pequeñas, como, por ejemplo, en los frigoríficos domésticos, y suelen ser refrigerados por convección natural, mientras que, con aletas, se emplean en instalaciones industriales y pueden ser de convección forzada o natural.

Los condensadores pueden venir incorporados junto con el compresor y el recipiente de líquido en las llamadas **unidades condensadoras**.

## 7.6.2. Condensadores enfriados por agua

Teniendo en cuenta que el calor específico del aire a presión atmosférica es de 1 kJ/kg y el del agua es de 4,18 kJ/kg, los condensadores enfriados por agua requieren menor superficie de intercambio para eliminar la misma potencia térmica.

Estos condensadores son más útiles cuando la eliminación de calor que necesitamos es grande.

Los podemos clasificar en:

- **De doble tubo.** También llamados *concéntricos* por estar contruidos utilizando dos tubos de diferente diámetro que están montados conservando el mismo eje. Como puede verse en la Figura 7.14., los fluidos discurren a contracorriente y el agua se desplaza

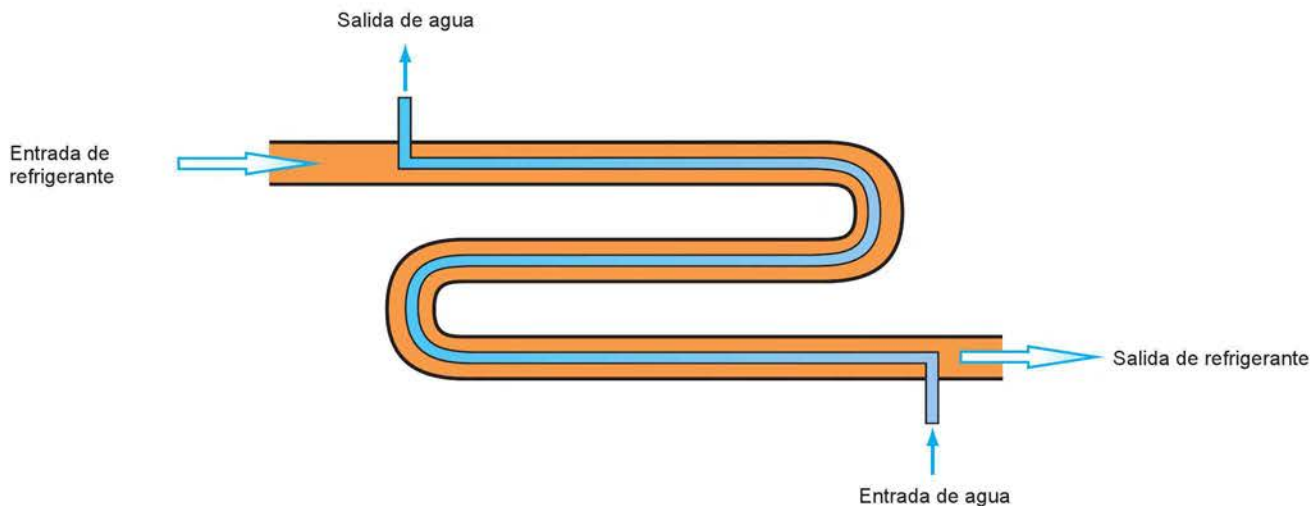


Figura 7.14. Esquema de condensador de doble tubo

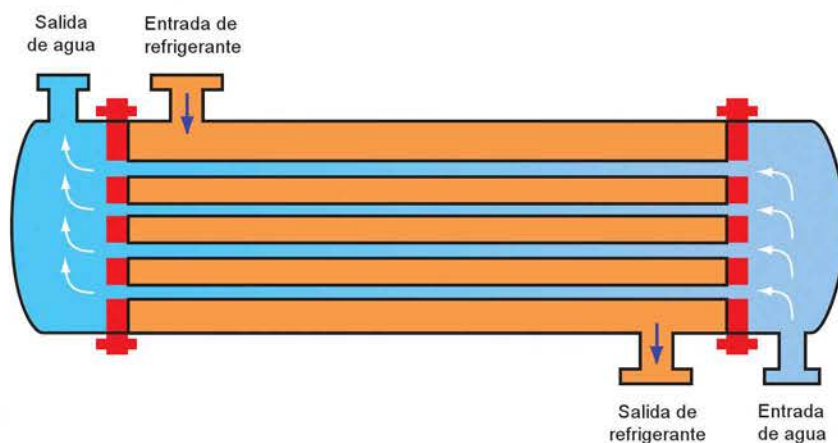


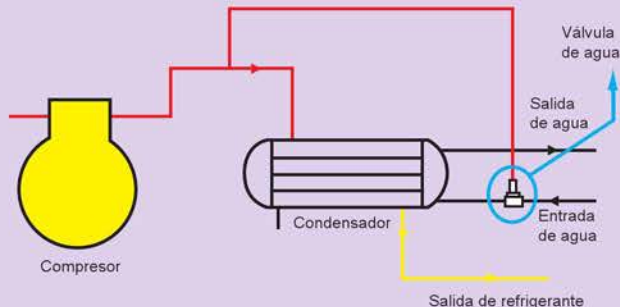
Figura 7.15. Esquema de condensador multitubular

por el tubo más delgado mientras que el refrigerante lo hace por el espacio anular comprendido entre ambos.

- **Multitubulares.** Están formados por una carcasa metálica que lleva en su interior montada una batería de tubos. El fluido refrigerante llena la envolvente, se condensa al estar en contacto con los tubos por los que circula el agua y sale en estado líquido por la parte inferior hasta el recipiente acumulador. Es importante tener en cuenta las posibles incompatibilidades entre los materiales del condensador y el tipo de refrigerante.

### SABÍAS QUE...

Las válvulas de agua permiten regular el caudal que entra en los condensadores multitubulares dependiendo de la cantidad de calor que tengan que ceder. Su función es similar a la de un ventilador en la regulación del caudal de aire de un condensador de aire.



### SABÍAS QUE...

En relación al mantenimiento de los condensadores multitubulares, debe mantenerse limpia la parte interior de los tubos para evitar incrustaciones. Además, debe tenerse especial precaución con la formación de gases incondensables en la instalación ya que provocarían un aumento de la presión de condensación.

## 7.6.3. Condensadores evaporativos

El principio de funcionamiento de este tipo de condensadores está basado en el enfriamiento del refrigerante por la acción combinada de aire y agua. El refrigerante sobrecalentado que circula por el interior del serpentín es enfriado por el de agua que, constantemente, se pulveriza sobre su superficie externa, al mismo tiempo, una

corriente ascendente de aire que retira calor del líquido refrigerante.

El condensador evaporativo está formado por una envolvente, normalmente de acero galvanizado, en cuyo interior se aloja el serpentín por el que circula el fluido refrigerante, también incorpora un ventilador o ventiladores (axiales o centrífugos) que hacen circular el aire en sentido ascendente desde su aspiración a través de unas rejillas situadas en la parte inferior y sale al exterior a través de un separador de gotas.

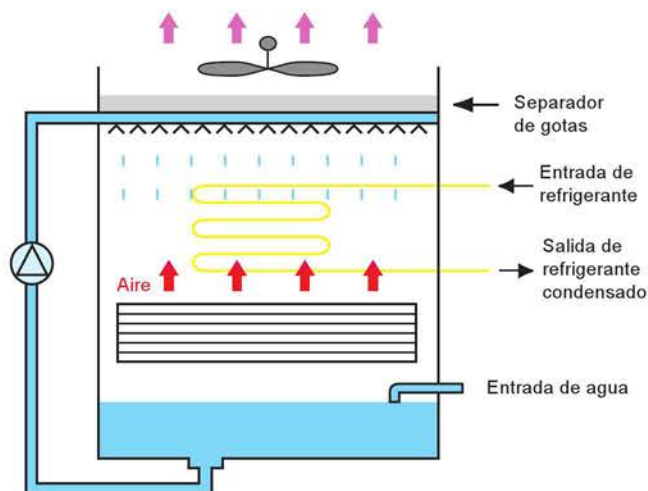


Figura 7.16. Esquema de condensador evaporativo

En la parte inferior del condensador, se sitúa una bandeja donde se recoge el agua que vuelve a impulsarse hasta la parte superior, para ser pulverizada. Una parte del agua se pierde por evaporación.

La reposición de agua se realiza por medio de una válvula situada en la alimentación gobernada por un sistema de control del nivel para determinar cuándo y en qué medida hay que aportar agua de renovación. Hay que tener en cuenta que el agua que se utiliza en el proceso debe ser analizada para comprobar si es necesario someterla a algún tratamiento químico.

Este tipo de condensadores se emplean en grandes sistemas de refrigeración o en lugares donde la temperatura es elevada.

### SABÍAS QUE...

Las torres de refrigeración son similares a los condensadores evaporativos, con la diferencia de que estas no realizan la condensación del refrigerante, sino que se emplean para enfriar el agua empleada en la condensación, por ejemplo, de condensadores multitubulares.

## 7.7. Selección del condensador

Para seleccionar el condensador, seguiremos los siguientes pasos:

1. Calcular la capacidad del condensador, es decir, la cantidad de calor que va a ceder al medio condensante, tal y como se ha explicado en el Apartado 7.5. de la unidad didáctica.
2. Calcular la capacidad nominal. Se trata de corregir la capacidad calculada con un factor de corrección que proporcionan los fabricantes mediante tablas.

### Actividad resuelta

7.4. Calcula la capacidad nominal de un condensador por aire con ventiladores centrífugos a nivel del mar que utiliza R134a. Trabaja con las siguientes condiciones:

- Capacidad del evaporador: 10.000 kcal/h.
- Temperatura de evaporación:  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Temperatura de condensación:  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Temperatura ambiente:  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Para realizar el cálculo, nos dan las siguientes tablas del fabricante FRIMETAL. El fabricante nos indica la fórmula de cálculo:

$$Q_n = Q_e \times F_c \times F_r \times F_a \times (15/\Delta T)$$

Siendo  $Q_n$  la capacidad nominal del condensador (kcal/h),  $Q_e$  la capacidad del evaporador (kcal/h),  $F_c$  el factor calor compresión,  $F_r$  el factor refrigerante,  $F_a$  el factor de altitud y  $\Delta T$  la diferencia de temperaturas ( $T_{\text{condensación}} - T_{\text{aire}}$ ).



Figura 7.17. Condensador con ventiladores centrífugos

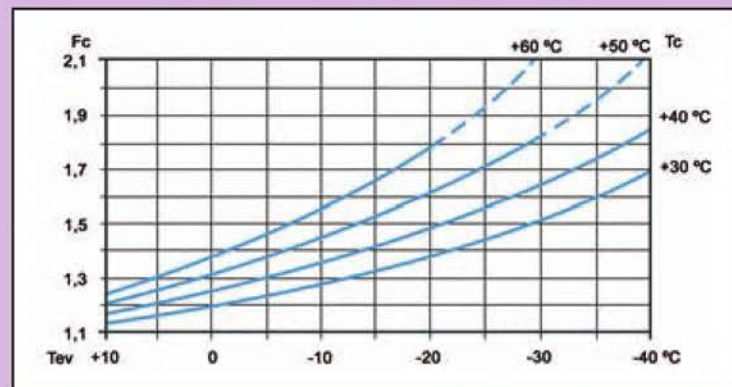


Figura 7.18. Gráfica del factor de compresión

Tabla 7.1. Factor de altitud

Altitud (m)	0	400	800	1.200	1.600	2.000	2.400
$F_a$	1	1,03	1,06	1,09	1,12	1,16	1,20

Tabla 7.2. Factor refrigerante

Refrigerante	R404A	R22	R134a
$F_r$	1	1,04	1,07



### Solución:

El factor calor compresión se obtiene de la Figura 7.18.

Siendo  $F_c = 1,31$ .

El factor de altitud se obtiene de la Tabla 7.1., puesto que nos encontramos a nivel del mar, será  $F_a = 1$

El factor refrigerante se obtiene de la Tabla 7.2.:

$$F_r = 1,07.$$

La diferencia de temperaturas será:

$$\Delta T = T_{\text{condensación}} - T_{\text{aire}} = 35 - 25 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

Con todos los datos, obtenemos la capacidad nominal del condensador:

$$Q_n = Q_e \times F_c \times F_r \times F_a \times (15/\Delta T)$$

$$10.000 \times 1,31 \times 1 \times 1,07 \times (15/10) = 21.025,2 \text{ kcal/h}$$

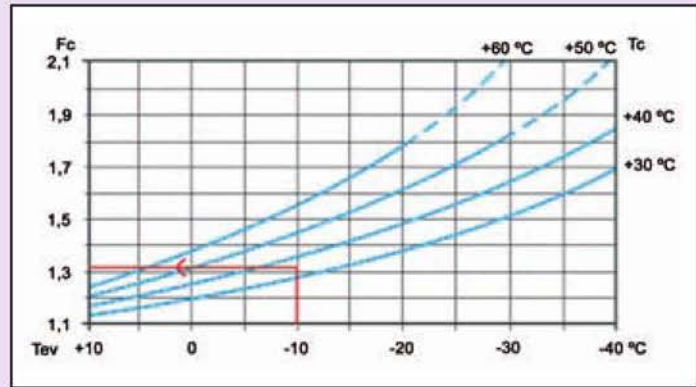


Figura 7.19. Valor del factor de compresión

### Actividad propuesta

**7.8.** Calcula la capacidad nominal de un condensador por aire a 800 m de altitud que utiliza R134a. Trabaja con las siguientes condiciones:

- Capacidad del evaporador: 26.000 kcal/h.
- Temperatura de evaporación:  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Temperatura de condensación:  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Temperatura ambiente:  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Utiliza las tablas del fabricante de la Actividad resuelta 7.4.

### Actividad propuesta

**7.9.** Calcula la superficie de transmisión de un condensador por agua multitubular que utiliza R22. Trabaja con las siguientes condiciones:

- Capacidad del evaporador: 26.000 kcal/h.
- Temperatura de evaporación:  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Temperatura de condensación:  $32 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Temperatura de entrada de agua:  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Temperatura de salida de agua:  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Coeficiente de transmisión:  $800 \text{ kcal/h m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### Enlaces web de interés

<http://www.frimetal.es>

Fabricante de evaporadores y condensadores.

- El evaporador es un intercambiador de calor que se encarga de absorber calor del medio a refrigerar. Se divide en dos tramos: tramo de calor latente (entrada mezcla líquido-vapor y salida vapor saturado) y tramo de calor sensible (entrada vapor saturado y salida vapor sobrecalentado).
- El condensador es un intercambiador de calor que se encarga de ceder calor al medio condensante, que puede ser agua o aire. Se divide en tres tramos: tramo de calor sensible del vapor (entrada vapor sobrecalentado y salida de vapor saturado), tramo de calor latente (entrada vapor saturado y salida de líquido saturado) y tramo de calor sensible del líquido (entrada líquido y salida líquido subenfriado).
- La capacidad para un intercambiador de calor (evaporador y condensador) se calcula por esta fórmula:  $Q = S \times K \times \Delta T$ .
- Los evaporadores se pueden clasificar en:

Criterio de clasificación	Tipo	Características
Según su constitución física.	<b>Evaporadores de placas</b>	Placas de acero inoxidable y bastidor de acero al carbono.
	<b>Evaporadores de tubo liso</b>	Tubos de acero o de cobre en zigzag o en espiral.
	<b>Evaporadores de tubo con aletas</b>	Son iguales que los de tubo liso, pero se les añaden unas placas metálicas, que son las aletas.
Según el fluido a enfriar.	<b>Evaporadores de aire</b>	De ventilación natural (sin ventilador) o ventilación forzada (con ventilador).
	<b>Evaporadores de agua</b>	A contracorriente y multitubulares.
Según el estado del refrigerante en el interior del evaporador.	<b>Evaporadores secos</b>	El refrigerante cambia de estado durante el recorrido del evaporador y sale en estado de vapor sobrecalentado.
	<b>Evaporadores inundados</b>	El refrigerante sale del evaporador como mezcla de líquido-vapor.
Según el espacio en el que se realice la evaporación.	<b>De expansión directa</b>	El refrigerante está en contacto con el espacio a refrigerar.
	<b>De expansión indirecta</b>	El refrigerante no está en contacto con el fluido del espacio a refrigerar, sino que tendremos un fluido secundario (agua).

- En los evaporadores que trabajan a temperaturas negativas, puede formarse escarcha. Para eliminarla, se emplean los sistemas de desescarche, que pueden ser: por agua, por resistencias eléctricas, por gases calientes o por inversión de ciclo.
- Los condensadores pueden clasificarse en:

Criterio de clasificación	Tipo	Características
Enfriados por aire por convección natural o forzada.	<b>Condensadores de tubo liso</b>	Tubos de cobre. Neveras domésticas.
	<b>Condensadores de tubo con aletas</b>	Son iguales que los de tubo liso, pero con aletas de aluminio. En instalaciones industriales.
Enfriados por agua.	<b>De doble tubo</b>	Dos tubos de diferente diámetro que están montados conservando el mismo eje. El agua pasa por el tubo más delgado y el refrigerante, por el espacio anular comprendido entre ambos.
	<b>Multitubulares</b>	Haz de tubos por los que circula el refrigerante.
Enfriados por aire y agua (mixtos).	<b>Evaporativos</b>	Se enfría el refrigerante sobrecalentado que circula por el serpentín mediante agua pulverizada y una corriente de aire que se inyecta por la parte inferior.

## Actividades de comprobación

- 7.1.** La función del evaporador es:
- Absorber el calor del refrigerante.
  - Absorber el calor del medio a refrigerar.
  - Ceder el calor del refrigerante.
  - Ninguna de las anteriores es correcta.
- 7.2.** El evaporador puede dividirse en los siguientes tramos:
- Tramo de calor sensible de líquido y tramo de calor latente.
  - Tramo de calor sensible de vapor, tramo de calor latente y tramo de calor sensible de líquido.
  - Tramo de calor latente y tramo de calor sensible de vapor.
  - Tramo de calor sensible de líquido y tramo de calor sensible de vapor.
- 7.3.** La cantidad de calor que puede absorber el evaporador depende de:
- La superficie del evaporador y la diferencia de temperaturas entre el medio a refrigerar y el fluido refrigerante.
  - La superficie de evaporador, el coeficiente de transmisión del calor del material y la diferencia de temperaturas entre el medio a refrigerar y el fluido refrigerante.
  - La superficie del evaporador, el factor de corrección y la diferencia de temperaturas entre el medio a refrigerar y el fluido refrigerante.
  - Ninguna de las anteriores es correcta.
- 7.4.** Señala la afirmación incorrecta:
- Los evaporadores de tubo con aletas se utilizan en aplicaciones con riesgo de formación de escarcha.
  - Los evaporadores de aire con ventilación forzada se emplean en cámaras de congelados donde las humedades son altas.
  - Los evaporadores de expansión indirecta se emplean en instalaciones que refrigeran con un fluido secundario.
  - Los evaporadores inundados están sumergidos en agua.
- 7.5.** La escarcha disminuye el rendimiento del evaporador porque:
- Enfría demasiado el refrigerante y hace que los ciclos de trabajo sean más largos.
  - El compresor funciona durante menos tiempo cada ciclo.
  - Actúa de aislante sobre las tuberías del evaporador.
  - Ninguna es correcta.
- 7.6.** Señala la respuesta correcta:
- El desescarche por agua es el tipo más usado.
  - El desescarche por resistencias eléctricas consiste en calentar el evaporador mediante resistencias eléctricas.
  - El desescarche por inversión de ciclo consiste en descargar el refrigerante en estado vapor sobrecalentado en el evaporador.
  - El desescarche por gases calientes solo se aplica en instalaciones con un único evaporador.
- 7.7.** El condensador puede dividirse en los siguientes tramos:
- Tramo de calor sensible de líquido y tramo de calor latente.
  - Tramo de calor sensible de vapor, tramo de calor latente y tramo de calor sensible de líquido.
  - Tramo de calor latente y tramo de calor sensible de vapor.
  - Tramo de calor sensible de líquido y tramo de calor sensible de vapor.
- 7.8.** En los condensadores enfriados por agua:
- El líquido requiere menor superficie de intercambio para eliminar la misma potencia que un condensador enfriado por aire.
  - El líquido requiere mayor superficie de intercambio para eliminar la misma potencia que un condensador enfriado por aire.
  - El vapor requiere menor superficie de intercambio para eliminar la misma potencia que un condensador enfriado por aire.
  - El vapor requiere mayor superficie de intercambio para eliminar la misma potencia que un condensador enfriado por aire.
- 7.9.** Señala la respuesta correcta:
- Los condensadores de doble tubo enfriados por agua se emplean en neveras domésticas.
  - Los condensadores de tubo con aletas se emplean en instalaciones industriales.
  - Los condensadores evaporativos se emplean en pequeñas instalaciones o en lugares donde la temperatura es baja.
  - Ninguna es correcta.
- 7.10.** Las torres de refrigeración:
- Realizan la condensación del refrigerante en su interior.
  - Se emplean para enfriar el agua empleada en la condensación.
  - El agua pulverizada cae sobre un serpentín por cuyo interior circula líquido refrigerante.
  - Ninguna es correcta.

## Actividades de aplicación

- 7.11.** Explica cuál es la función del evaporador en un circuito de refrigeración y qué le ocurre al refrigerante durante su paso por el evaporador.
- 7.12.** Indica cuándo se utilizan múltiples circuitos en un evaporador y qué elemento se utiliza en estos evaporadores.
- 7.13.** Señala qué válvula de expansión se utiliza en los evaporadores inundados y cuál en los evaporadores secos.
- 7.14.** Razona qué tipos de evaporadores utilizarías para las siguientes aplicaciones:
- Instalación de aire acondicionado en una vivienda.
  - Cámara frigorífica de productos congelados con altas humedades.
  - Instalación de aire acondicionado en una nave industrial.
  - Cámara frigorífica de productos frescos de un supermercado.
- 7.15.** Dibuja el esquema para los siguientes sistemas de desescarche:
- Por gases calientes.
  - Por inversión de ciclo.
- 7.16.** Cita en qué tramo del proceso de condensación se elimina más calor.
- 7.17.** A una empresa instaladora le han encargado realizar el sistema de refrigeración de una planta industrial. Para ello, deben seleccionar el condensador:
- Describe los tipos de condensadores que podrían instalarse.
  - Indica qué tareas de mantenimiento tendrían que realizarse.
- 7.18.** Explica qué tipo de condensadores son más eficientes: los enfriados por agua o por aire.
- 7.19.** En una instalación, contamos con un evaporador de circulación forzada que trabaja con una  $T.^a$  de evaporación de  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , un  $\Delta T$  de  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$  y tiene una capacidad de  $6.000\text{ kcal/h}$ . Averigua su capacidad si el  $\Delta T$  fuera de  $9\text{ }^{\circ}\text{C}$  y si fuera de  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Utiliza para ello la gráfica de la Figura 7.5. Argumenta cómo varía la capacidad con el incremento de temperatura.
- 7.20.** Calcula la capacidad nominal de un condensador por aire a nivel del mar que utiliza R404A. Trabaja con las siguientes condiciones:
- Capacidad del evaporador:  $30.000\text{ kcal/h}$ .
  - Temperatura de evaporación:  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
  - Temperatura de condensación:  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
  - Temperatura ambiente:  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
  - Utiliza las tablas del fabricante de la actividad resuelta 7.4.
- 7.21.** Enumera las diferencias entre un condensador evaporativo y una torre de refrigeración.

## Actividades de ampliación

- 7.22.** Una de las aplicaciones típicas de los evaporadores cúbicos con ventiladores centrífugos son las cámaras frigoríficas con temperaturas positivas. En internet, pueden encontrarse catálogos de este tipo de evaporadores: <http://www.frimetal.es> o <http://www.baltimoreaircoil.com>. Realiza un estudio sobre las distintas ofertas, diseños y tipos de fabricación de estos evaporadores. Presta atención al tipo de ventilador que emplean. Indica diferentes tipos de sistemas de desescarche que pueden aplicarse.
- 7.23.** Calcula la capacidad y el caudal de agua de un condensador multitubular que utiliza R404A. Trabaja con las siguientes condiciones:
- Capacidad del evaporador:  $30.000\text{ kcal/h}$ .
  - Temperatura de evaporación:  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
  - Temperatura de condensación:  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
  - Temperatura de entrada del agua:  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
  - Temperatura de salida del agua:  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
  - Coeficiente de transmisión del calor:  $900\text{ kcal/h m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
  - Temperatura ambiente:  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Para determinar la cantidad de agua que circula por un condensador multitubular de agua, recuerda lo visto en el Apartado 2.8. sobre calor específico de la Unidad 2.
- Realiza un estudio sobre el condensador que va a instalarse dando todos los datos que sean necesarios. Para ello, puedes consultar en distintas páginas de fabricantes.

# Compresores frigoríficos



El ciclo de compresión de vapor con el que funcionan la mayoría de las máquinas frigoríficas debe su nombre a uno de los elementos que lo forman: el compresor. Podemos encontrar diferentes clasificaciones de los compresores dependiendo de la aplicación a la que sean destinados. Vamos a hacer una clasificación sencilla centrandó el estudio en aquellos más empleados.

# 8

## Contenidos

- 8.1. Compresores: funcionamiento y partes
- 8.2. Tipos de compresores
- 8.3. Compresores rotativos
- 8.4. Compresores alternativos: funcionamiento y componentes
- 8.5. Dimensionamiento de un compresor
- 8.6. Motor eléctrico del accionamiento
- Resumen
- Actividades finales

## Objetivos

- Explicar la función del compresor en el circuito frigorífico.
- Clasificar los compresores atendiendo a la forma en la que se ha realizado el montaje y a la forma de realizar la compresión del refrigerante.
- Indicar las diferencias entre compresores alternativos y rotativos.
- Describir las distintas partes que tiene un compresor alternativo.
- Conocer los cálculos para realizar la selección del compresor.

## 8.1. Compresores: funcionamiento y partes

El compresor tiene como función principal la de hacer circular el refrigerante por todo el circuito, pero también es el encargado de generar el desequilibrio de presiones entre las dos partes de este. En relación con la posición de las tomas del compresor, el circuito se divide en: una zona de baja presión, por donde aspira el compresor, y otra zona de alta presión, que es la zona de descarga del compresor.

El compresor está formado por dos partes claramente diferenciadas:

- **El elemento motor.** Es el encargado de producir el movimiento giratorio que se transmite al compresor a través de un eje.
- **Elemento compresor.** Es donde se produce la compresión de los gases gracias a la compresión producida al aprovechar el movimiento del eje motor.

Estas dos partes pueden ser más o menos fáciles de delimitar dependiendo del tipo de compresor del que estemos hablando.

## 8.2. Tipos de compresores

En función del montaje, pueden clasificarse en:

- **Herméticos.** Estos compresores se caracterizan por no poder ser desmontables, el motor eléctrico y la zona de compresión van ubicados en la misma carcasa, no siendo accesibles. No permiten realizar ningún

mantenimiento ya que vienen herméticamente cerrados para conseguir minimizar las fugas de refrigerantes. El motor eléctrico está refrigerado por el gas de admisión. Por su coste y por sus características, son ideales para pequeñas potencias.

- **Semiherméticos (herméticos accesible).** Son similares al compresor hermético, pero con la ventaja de que todas las partes son accesibles para su reparación. La zona del compresor y del motor se encuentra en el interior de una carcasa cerrada con tornillería y el acoplamiento se realiza de manera directa. Se utilizan en instalaciones de medianas y grandes potencias.



Figura 8.2. Compresor semihermético (cortesía de Gea Bock)

- **Abiertos.** En este caso, motor y compresor van montados por separado siendo accesibles en su totalidad. El área de compresión tiene un eje saliente y es ac-



Figura 8.1. Compresores herméticos alternativos (cortesía de Danfoss)

cionada por el motor eléctrico. La transmisión entre una parte y otra se realiza por medio de un acoplamiento que permite transmitir toda la fuerza de la zona motora a la zona de compresión con las mínimas pérdidas posibles. Podemos diferenciar dos tipos de acoplamientos:

- **Directo.** En el que los dos ejes, el del motor y el del compresor, están unidos directamente manteniendo cierto grado de elasticidad.
- **Por correas.** Los ejes llevan unas poleas incorporadas, por lo que, en función de los diámetros de estas y de su velocidad, podemos conseguir una regulación de potencia.



Figura 8.3. Compresor abierto (cortesía de Gea Bock)

Tienen el inconveniente de que, debido al eje saliente de la zona de compresión, existe un *punto débil* por el que hay una gran posibilidad de fugas de refrigerante. El amoníaco se usa mucho como refrigerante (tener en cuenta la reacción corrosiva entre el amoníaco y el cobre) en este tipo de compresores porque no está en contacto con el bobinado del motor.

Los compresores, independientemente de que sean abiertos, herméticos o semiherméticos, pueden clasificarse de acuerdo a su principio de funcionamiento. Aquellos en los que se lleva a cabo una compresión por medio de elementos que consiguen una reducción volumétrica se llaman de *desplazamiento positivo* y aquellos en los que la compresión se consigue por medio de la fuerza centrífuga al hacer girar los vapores a alta velocidad se llaman de *desplazamiento cinético*.

### 8.3. Compresores rotativos

Se caracterizan por comprimir el fluido refrigerante mediante el movimiento circular continuo de un rotor.

#### 8.3.1. Compresores de paletas

Están formados por un rotor que tiene unas ranuras en las que hay unas paletas comprimidas contra la pared del cilindro por medio de unos resortes. Concéntricamente a este y algo descentrado, se encuentra el cilindro. El número de paletas puede variar: una, dos, cuatro, seis, etc.

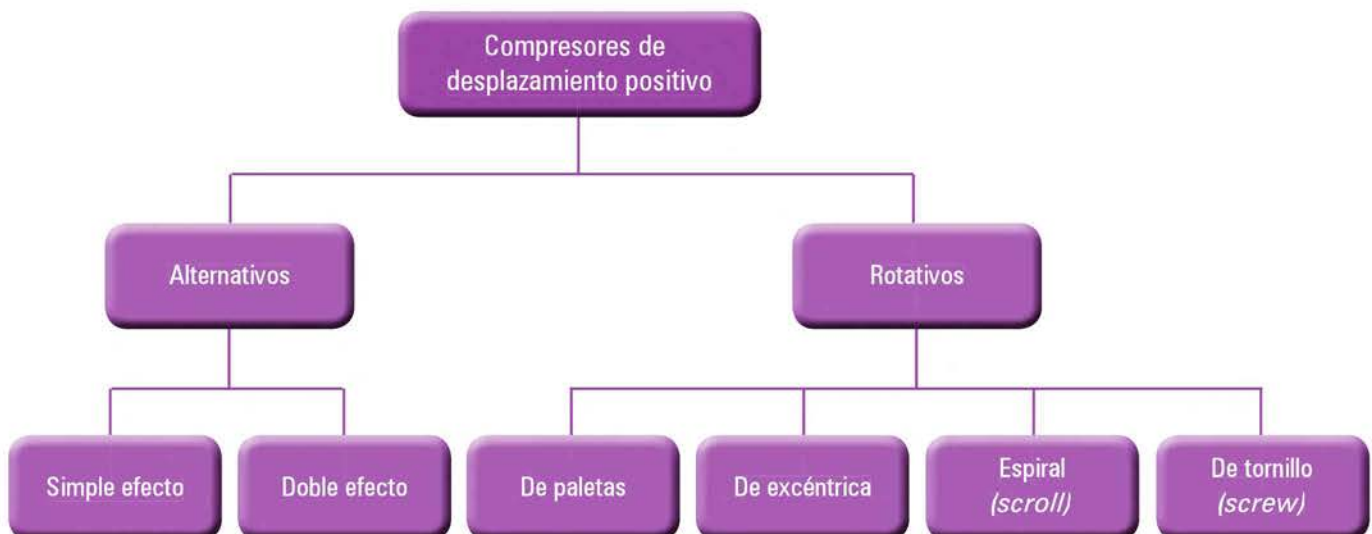


Figura 8.4. Diagrama clasificatorio de compresores

El refrigerante procedente del evaporador entra por el orificio de aspiración y llena el espacio que se encuentra entre dos paletas contiguas. Al girar el rotor, este espacio cada vez es más reducido y así se consigue la compresión del gas, que se expulsa por el orificio de descarga hacia el condensador. Existen compresores cuyos rotores no llevan resortes y las paletas se mantienen comprimidas por la acción de su propio peso y de la fuerza centrífuga. Se utilizan para potencias no muy elevadas.

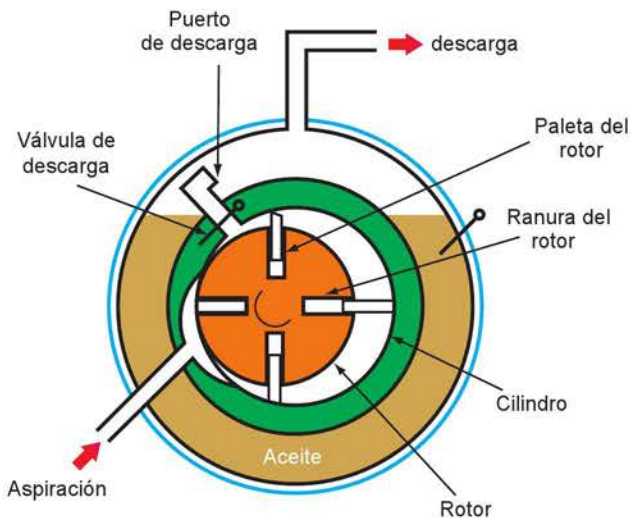


Figura 8.5. Compresor de paletas

### 8.3.2. Compresores de excéntrica

Están constituidos por un cilindro de acero hueco, llamado estátor, que gira sobre un eje excéntrico común al estátor. El estátor, por su parte, es un cilindro donde se encuentran las válvulas de aspiración y de descarga.

El rotor está siempre en contacto con la paleta que se encuentra montada sobre la pared del cilindro y sirve para separar la parte de aspiración de la de descarga.

La aspiración se hace de manera continua y, cuando el gas ha accedido, se realiza la compresión por la disminución del espacio entre el cilindro y el rotor. La descarga se realiza cuando el rotor está en contacto con la parte superior del estátor. Se utilizan para potencias no muy elevadas.

### 8.3.3. Compresores de espiral (*scroll*)

Estos compresores están formados por dos discos que llevan una estructura con forma de espiral sobre su superficie, como puede observarse en la Figura 8.7. Uno de los discos es fijo y el otro es móvil y está en contacto con el fijo. Hasta el momento, todos los compresores *scroll* comercializados son verticales, pero se anuncia ya la posibilidad de construirlos de manera horizontal.

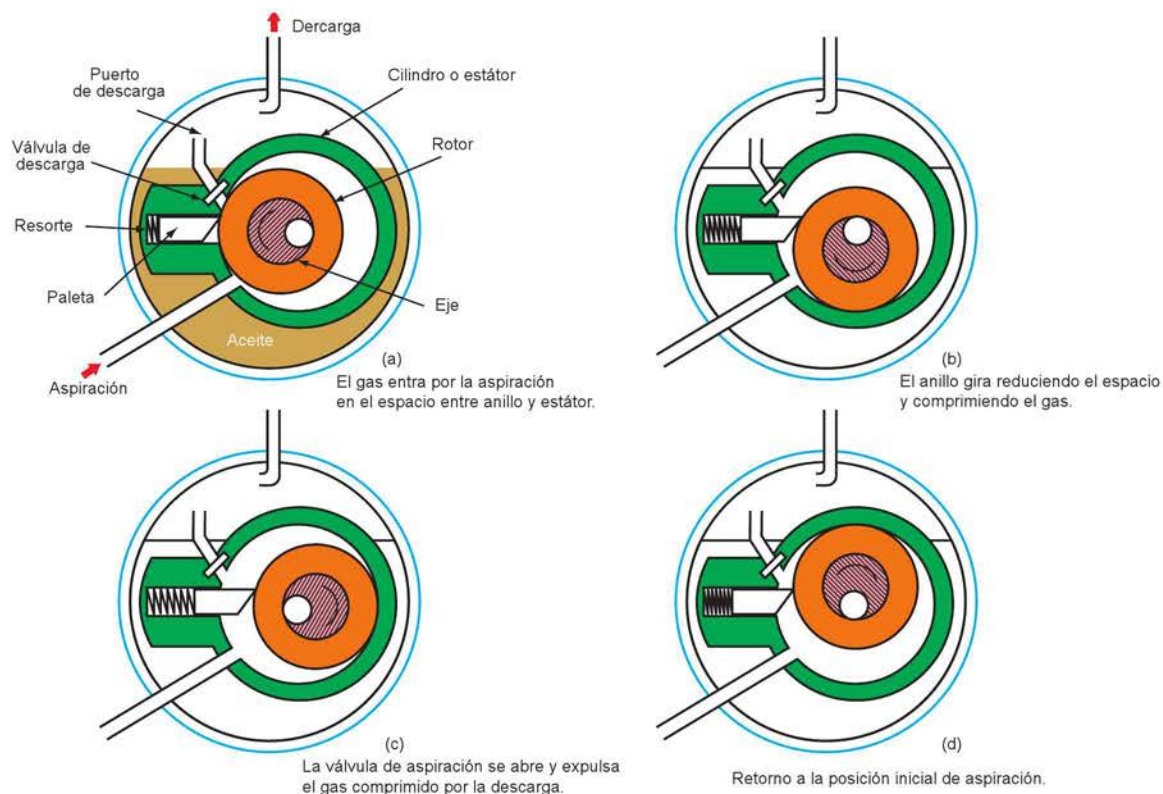


Figura 8.6. Funcionamiento de compresor de excéntrica





Hélices o discos superior e inferior del compresor scroll



Sección de compresor de scroll

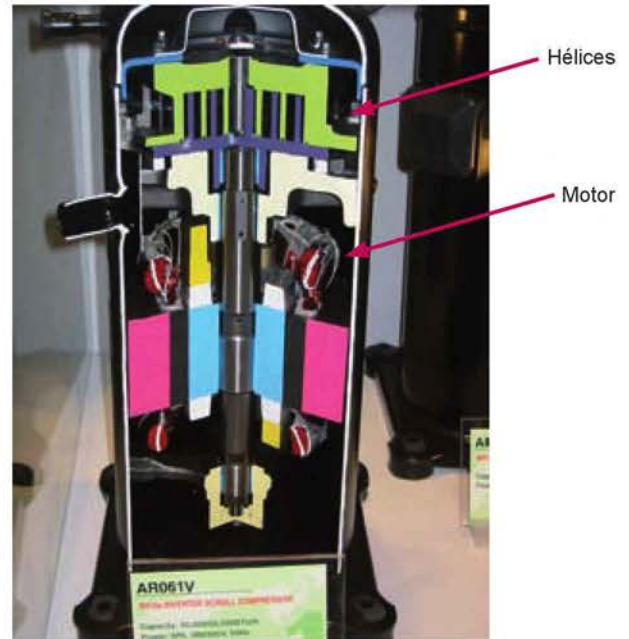


Figura 8.7. Compresor scroll

En principio, el funcionamiento es el siguiente: el fluido entra y ocupa el espacio libre entre las espirales, que, durante su movimiento, van comprimiéndolo en las zonas en contacto. Una pieza intermedia entre el eje del motor y la hélice produce un desplazamiento de ejes, generando el movimiento excéntrico. Se utilizan en muy bajas potencias y tienen la ventaja de tener un nivel sonoro muy bajo.

### 8.3.4. Compresores de tornillo

Están formados por dos rotores con forma de hélice, como puede observarse en la Figura 8.8., una hembra y otra macho, que engranan entre sí. Uno de los rotores, llamado rotor primario, de cuatro lóbulos o helicoides, es accionado directamente por el motor eléctrico y gira a la misma velocidad que este. Mediante un sistema de rodamientos, el rotor primario transmite el movimiento al rotor secundario, que es del mismo diámetro, pero gira a menor velocidad y en sentido contrario.

El fluido entra en el compresor por un orificio que carece de partes móviles y ocupa inicialmente todo el espacio entre las hélices y el cárter, para después ser guiado por los surcos. Las dos hélices no llegan a estar pegadas entre sí porque existe un espacio muy pequeño entre ambas. Con el giro, ese espacio de separación va disminuyendo comprimiendo a su vez el fluido, que va dirigiéndose a la descarga.

En estos compresores, es de gran importancia el aceite porque además de lubricación también realiza la función de cierre.



Figura 8.8. Sección de compresor de tornillo de dos rotores

Se utiliza para potencias medias y altas. El número de compresores utilizados para producir una misma potencia es

menor que el número de compresores alternativos. Regulan la potencia utilizando una válvula corredera que cambia el comienzo de la compresión. Varía de un 10 a un 100 % de la producción total.

#### SABÍAS QUE...

En 1957 se inicia la aparición de los compresores rotativos de tornillo en el campo de la refrigeración, aunque la primera patente del dispositivo data de 1878. Alf Lysholm fue quien los retomó al estudiar sus diferentes configuraciones y, posteriormente, surgirán los compresores monotornillo.

## 8.4. Compresores alternativos: funcionamiento y componentes

Vamos a estudiar con más detalle este tipo de compresor por ser el que se utiliza con mayor frecuencia. Los compresores alternativos pueden ser de dos tipos: de simple efecto, cuando la compresión del fluido se produce en un solo lado del pistón, o de doble efecto, cuando la compresión del fluido se realiza en los dos lados del pistón.



Figura 8.9. Sección de compresor alternativo

#### SABÍAS QUE...

Cuando el cilindro está lleno de líquido, teniendo en cuenta que los líquidos no pueden comprimirse, pueden producirse efectos nefastos para la instalación que provoquen la rotura del pistón, de la válvula y de la varilla dependiendo del líquido que se introduzca en el cilindro, lo que se llama golpe de líquido.

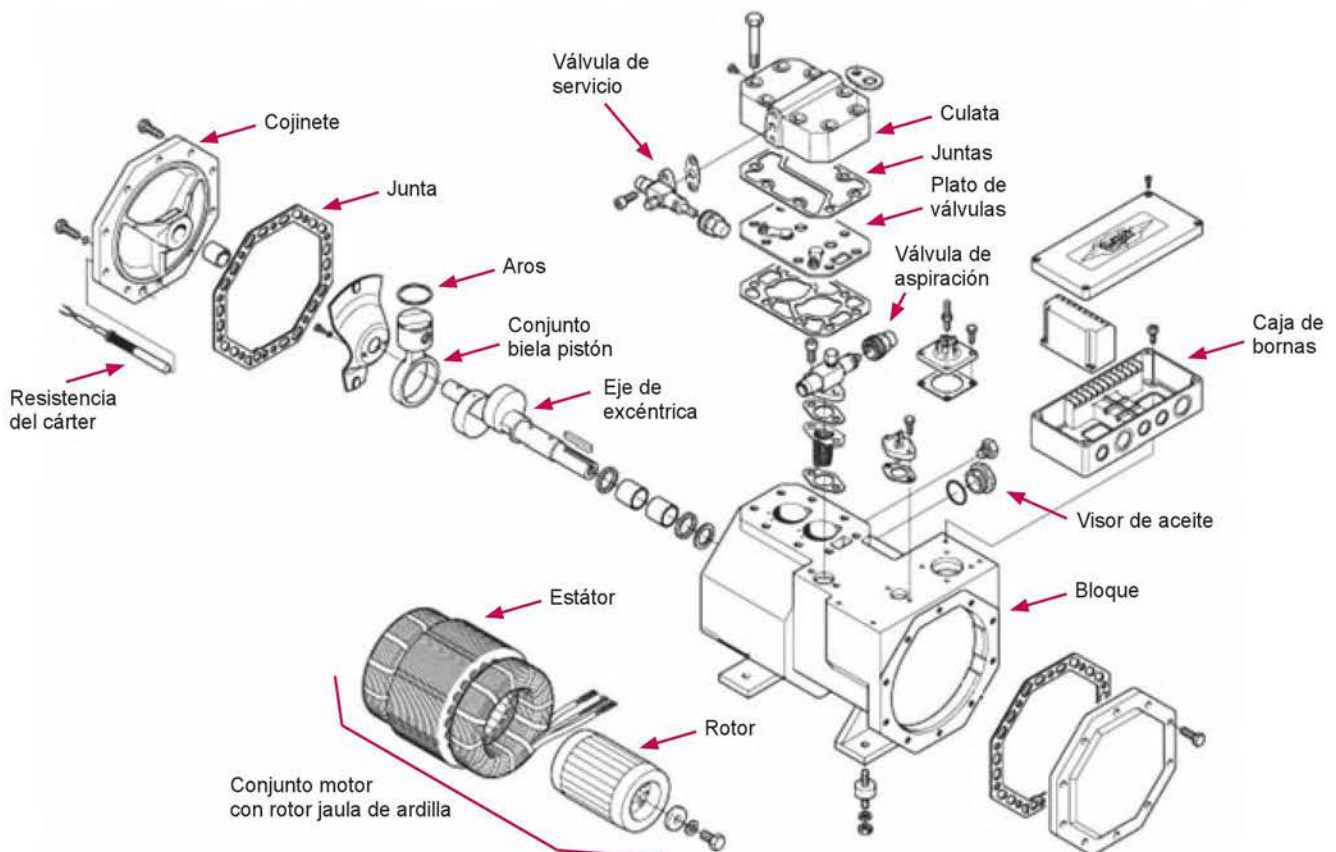


Figura 8.10. Despiece de un compresor alternativo

### 8.4.1. Forma constructiva: componentes

En la Figura 8.10. encontramos todos los elementos por los que está formado un compresor. A continuación, vamos a estudiarlos en detalle analizando su función:

- **Bloque.** Además de ser la carcasa del compresor también ejerce la función de soporte de todos sus elementos. En él podemos diferenciar dos partes: una superior llamada culata y una inferior por su interior llamada cárter.

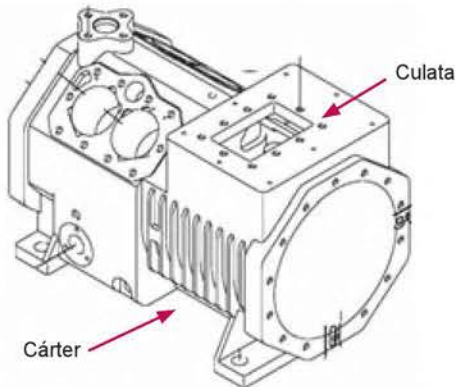


Figura 8.11. Bloque de un compresor

- **Cárter.** Como hemos visto en unidades didácticas anteriores, el compresor es un equipo lubricado con aceite. El espacio destinado a almacenar dicho aceite se llama cárter y se encuentra situado entre el eje cigüeñal y el fondo del bloque.

Algunos compresores llevan incorporada una bomba de aceite que se encarga de la lubricación de las par-

tes móviles del compresor aspirando el aceite del cárter y distribuyéndolo entre las distintas partes.

Después de largos periodos de parada, el refrigerante que está contenido en el cárter ha podido pasar a estado líquido, por lo que se utiliza la resistencia calefactora del mismo para calentarlo de nuevo y garantizar que se encuentre en estado vapor. Otro factor a tener en cuenta es la variación de la viscosidad de aceite según su temperatura. Para temperaturas más bajas, tendrá una mayor viscosidad, por lo que la resistencia a vencer en el arranque del compresor será mayor.



Figura 8.12. Dibujo de biela, pistón, aros y cilindros

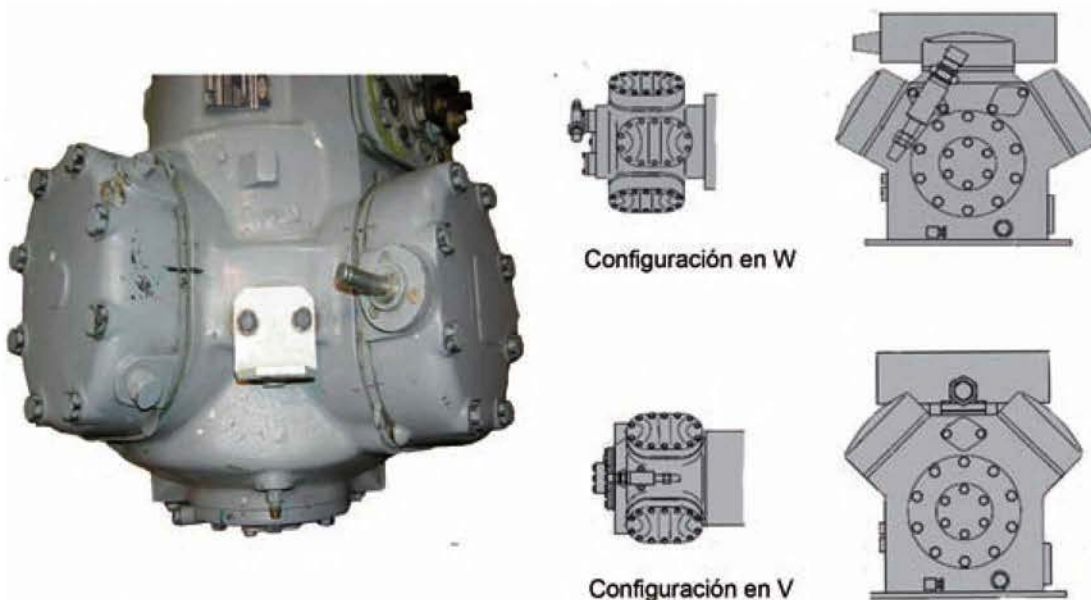


Figura 8.13. Configuración de cilindros en W y V, respectivamente

- **Pistón, cilindro, biela y anillos o aros.** El **pistón** es el elemento que está en contacto con el gas y que provoca la aspiración, la compresión y la descarga del fluido refrigerante con su movimiento alternativo, hacia arriba y hacia abajo, en el interior del cilindro. El **cilindro** es la cavidad donde va alojado el pistón. En algunos compresores, sobre todo en los de mediana y gran potencia, lleva una pieza que lo protege y que se denomina *camisa*. Los cilindros, según su número, pueden tener distintas configuraciones, las más utilizadas son en V, W y VV.

La **biela** es el elemento que une el pistón con el eje del cigüeñal. Por ello, son resistentes y ligeras. La parte superior de la biela, llamada *pie de biela*, se une al pistón por medio de un pasador llamado *bulón*. La parte inferior de la biela que se une al eje del cigüeñal se llama *cabeza de biela*. Para que el gas no se desplace hasta el cárter del cigüeñal, se utilizan **anillos o aros**. Estos pueden ser: de engrase, que permiten la lubricación del cilindro, o de compresión, que impiden que el fluido refrigerante se escape entre el pistón y el cilindro.

- **Eje del cigüeñal o excéntrica.** Tiene la doble función de transmitir el movimiento del motor y transformarlo de giratorio en alternativo (movimiento hacia arriba y hacia abajo de los pistones). Tendrá diferentes formas dependiendo del número de cilindros. El eje de excéntrica de la Figura 8.14. (a) se utiliza sobre todo en compresores de pequeñas potencias.

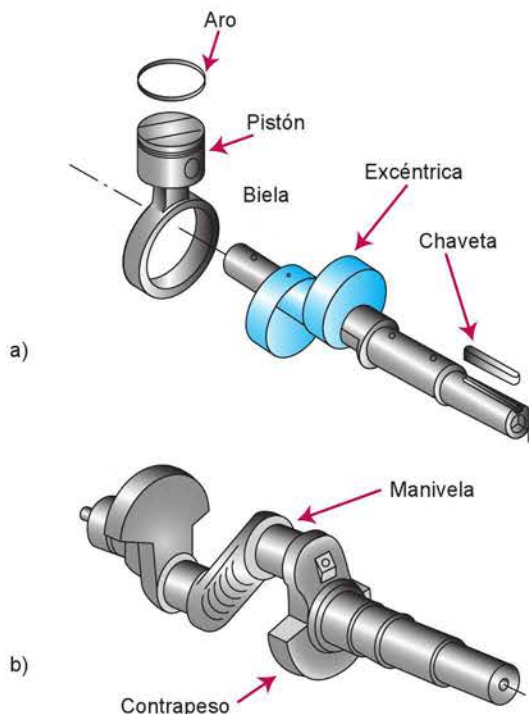


Figura 8.14. Eje de excéntrica (a) y eje de cigüeñal (b)

En el eje del cigüeñal, las partes que se conectan a la biela se llaman *manivelas*. A ambos lados opuestos de las manivelas, se disponen unos contrapesos de equilibrado, como puedes observar en la Figura 8.14. (b).

- **Culata.** Es el elemento que cierra el cilindro por la parte superior. En ella, se alojan las válvulas de aspiración y de descarga. Al estar sometida a altas temperaturas, debe ser refrigerada por aire o por agua.
- **Válvulas de aspiración y de descarga.** Están situadas en la parte superior del cilindro y lo comunican con los conductos de aspiración y de descarga. La apertura y el cierre de las válvulas se producen por la diferencia entre la presión del interior del cilindro y la presión de los conductos respectivos del fluido.

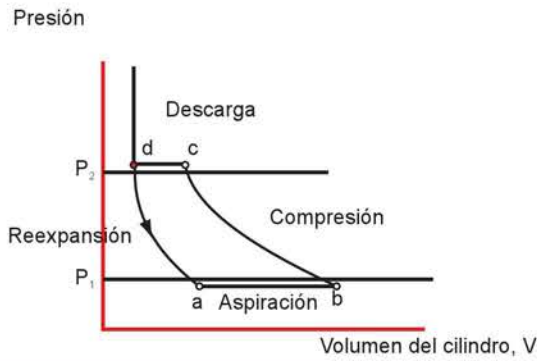


Figura 8.15. Plato de válvulas

- **Lubricación.** El aceite realiza una doble función: disminuir el rozamiento entre partes mecánicas y de refrigeración. Por lo tanto, el aceite durante su recorrido aumenta su temperatura y por ello es necesario instalar un enfriador, para mantenerle a un nivel adecuado.

## 8.4.2. Funcionamiento de los compresores alternativos. Ciclo de compresión

A continuación, vamos a estudiar el ciclo de compresión teórico y, para ello, vamos a fijarnos en las fases que tienen lugar en la Figura 8.16. y en cómo se posiciona el émbolo en cada caso:

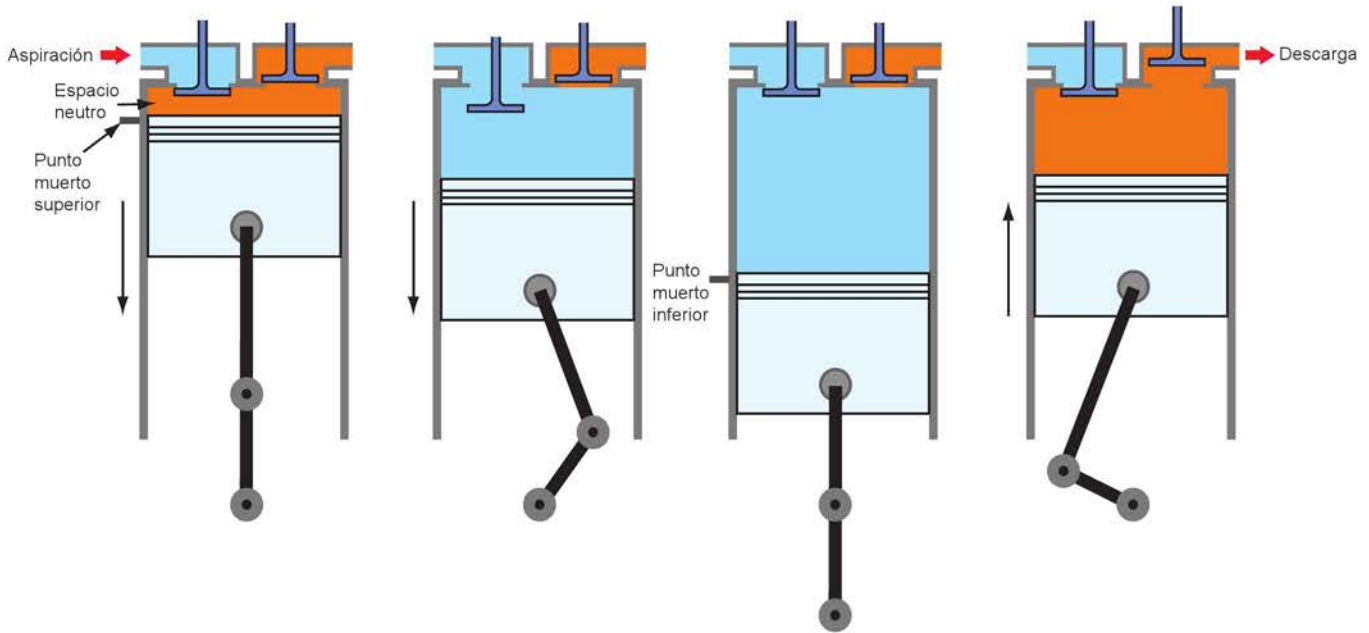


**Figura 8.16.** Diagrama de émbolo de las fases y diagrama de presión de las transformaciones

• **Carrera descendente de reexpansión (camino d-a).**

El pistón se encuentra en la parte superior de la carrera y empieza a descender. Cuando el pistón ha descendido lo suficiente como para que la presión que hay en el cilindro sea menor que la que hay en el conducto de aspiración, se abre una válvula de admisión y el cilindro comienza a llenarse de gas, tal y como muestra la Figura 8.18., y comenzamos la aspiración con el camino a-b.

El pistón continúa descendiendo hasta la parte inferior de la carrera, llamado *punto muerto inferior*. Llegados a este punto, el cilindro está prácticamente lleno. Hay un ligero retardo de tiempo a medida que el cigüeñal dirige la varilla alrededor de la parte inferior de la carrera.



**Figura 8.17.** El pistón está en el punto muerto superior preparado para descender

**Figura 8.18.** El pistón empieza a descender y a aspirar gas

**Figura 8.19.** El pistón ha llegado al punto muerto inferior

**Figura 8.20.** El pistón comienza a subir

- **Carrera ascendente de compresión (camino b-c).** El pistón comienza a ascender y la válvula de aspiración se cierra debido a que la presión en el interior del cilindro es superior a la de aspiración, con lo que aumenta más la presión del cilindro.

Cuando el pistón se aproxima al punto muerto superior, como muestra la Figura 8.20, se abre la válvula de descarga (ejemplo: la presión del cilindro tendrá que alcanzar los 1.300 kPa si tenemos una presión de descarga de 1.250 kPa para contrarrestar las fuerzas ejercidas por las válvulas de descarga) y el gas empieza a descargarse hasta que llega al punto muerto superior cuando se cierra la válvula de descarga y se reinicia el ciclo.

Es necesario que exista cierta separación entre las válvulas y el pistón para que no puedan contactar, esta distancia se llama *espacio neutro*. En este espacio, queda una pequeña cantidad de gas que volverá a expandirse.

## 8.5. Dimensionamiento de un compresor

Para la selección del compresor, deben tenerse en cuenta los siguientes parámetros:

- La capacidad de refrigerante requerida (kcal/h) y su evolución en función del tiempo durante el funcionamiento previsible de la instalación.

- La temperatura de evaporación (°C).
- La temperatura de condensación (°C).

También tendremos que tener claros los siguientes conceptos:

- **El efecto refrigerante (Er).** Es la cantidad de calor que absorbe el evaporador desde la entrada del mismo hasta la aspiración del compresor. Es la diferencia de entalpías entre estos dos puntos.
- **Potencia frigorífica.** Puede ser neta o bruta. En caso de ser neta, tan solo estamos considerando el calor que absorbe el evaporador del espacio a refrigerar, mientras que, si es bruta, se considera el calor hasta la aspiración del compresor, es decir, teniendo en cuenta el recalentamiento.

$$Q_{\text{frigorífica}} = V_d \times Er \times \eta_v \times d \text{ (kW, kJ/s, kcal/h)}$$

Donde  $V_d$  es el volumen desplazado ( $\text{m}^3/\text{h}$ ),  $Er$  es el efecto refrigerante o producción frigorífica (kJ/kg),  $\eta_v$  es el rendimiento volumétrico y  $d$  es la densidad del refrigerante a la entrada del compresor.

- **Caudal másico de refrigerante.** Es la relación entre la potencia frigorífica y el efecto refrigerante o producción frigorífica.

$$\dot{m} = \frac{Q_{\text{frigorífica}}}{E_{rb}} \text{ (kg/h)}$$

- **Volumen aspirado.** Es el volumen de refrigerante que entra al compresor.

$$V_r = V_{\text{esp}} \times \dot{m} \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Como podemos deducir, cuanto mayor sea el volumen específico ( $V_{\text{esp}}$ ) del vapor refrigerante, la cilindrada del compresor será mayor para comprimir el mismo caudal de refrigerante.

- **Rendimiento volumétrico.** Es la relación entre el volumen aspirado y el volumen desplazado por el compresor.

$$\eta_v = \frac{V_r}{V_d}$$

- **Potencia teórica del compresor.** Es el producto de la diferencia de entalpías entre la descarga y la aspiración del compresor y el caudal.

$$P_c = \dot{m} \times \Delta h \text{ (kW, kJ/s, kcal/h)}$$

Considerando las pérdidas de un compresor, obtendremos el **rendimiento volumétrico real**.

$$\eta_{vr} = \eta_v \eta_p$$

- **Volumen desplazado por un compresor.** Es el volumen que desplaza el pistón.

$$V_d = \frac{\Pi D^2}{4} \times N \times L \times n \times 60 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

## RECUERDA

Con el coeficiente de prestaciones (COP), podemos conocer la eficiencia de la instalación.

$$COP = \frac{\text{Potencia frigorífica del evaporador}}{\text{Potencia del compresor}}$$

- **Potencia del motor eléctrico del compresor (P).** Es la potencia que tiene que transmitir al compresor para proporcionar una determinada potencia frigorífica. Para calcularla, no debemos quedarnos con la potencia teórica necesaria, sino que es importante tener en cuenta las pérdidas dadas por el fabricante.

Las pérdidas pueden ser **mecánicas**, debido al rozamiento y a las transmisiones, que suelen ser entre el 10 y el 15 %, o pueden ser **eléctricas**, debido al motor, que suelen ser en torno al 5 % dependiendo del fabricante.

- **Relación de compresión.**  $R_c$  = presión de descarga (alta)/presión de aspiración (baja).

## SABÍAS QUE...

Se dice que el compresor trabaja en régimen húmedo cuando entra líquido en forma de gotitas no evaporadas en el cilindro. En estas condiciones, la tubería de aspiración se escarificaría si la temperatura de evaporación estuviese por debajo de 0 °C.

Es interesante trabajar en régimen seco o recalentado (vapor en el punto valor saturado seco) pues se consigue un aumento en el rendimiento de la instalación.

## Actividad propuesta

- 8.1.** Determina el compresor para una instalación de 2 kW de potencia frigorífica si la temperatura de evaporación es de -10 °C, la de condensación es de 35 °C, el recalentamiento es de 5 °C, el subenfriamiento es de 5 °C, el refrigerante utilizado es R134a y el rendimiento volumétrico es 0,85. Para ello, calcula:

- Cantidad de calor absorbido o efecto refrigerante.
- Caudal másico de refrigerante.
- Volumen de refrigerante aspirado por el compresor.
- Potencia teórica para la compresión.

### Actividad resuelta

**8.1.** Determina el compresor para una instalación de 5 kW de potencia frigorífica si la temperatura de evaporación es de -10 °C, la de condensación es de 40 °C, el recalentamiento es de 5 °C, el subenfriamiento es de 10 °C, el refrigerante utilizado es R134a y el rendimiento volumétrico es 0,75. Para ello, calcula:

- Cantidad de calor absorbido o efecto refrigerante.
- Caudal másico de refrigerante.
- Volumen de refrigerante aspirado por el compresor.
- Potencia teórica para la compresión.

**Solución:**

Lo primero que haremos es dibujar el diagrama:

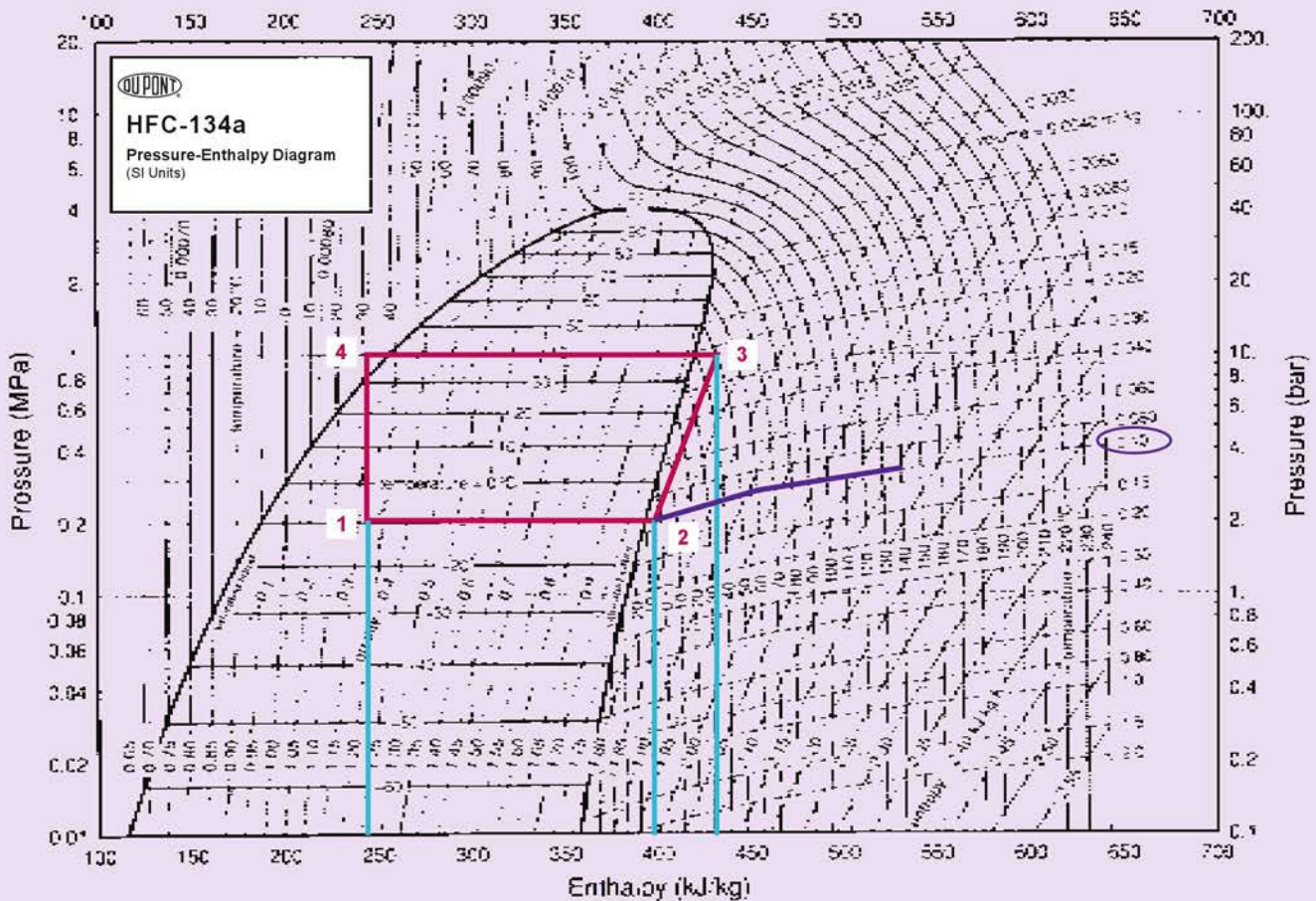


Figura 8.21. Representación del ciclo sobre el diagrama (cortesía de Dupont)

- Cantidad de calor absorbido o efecto refrigerante. Es la diferencia de entalpías entre los puntos de salida y de entrada del refrigerante al evaporador, es decir, los puntos 2 y 1 del diagrama.

$$E_r = h_2 - h_1 = 400 - 240 = 160 \text{ kJ/kg}$$

- Caudal másico de refrigerante:

$$\dot{m} = \frac{Q_{\text{frigorífica}}}{E_r} = [(5 \text{ kJ/s}) \times (3.600 \text{ s/h})] / 160 \text{ kJ/kg} = 112,5 \text{ kg/h}$$

(continúa)

(continuación)

- Volumen de refrigerante aspirado por el compresor. Depende del volumen específico que tenga el refrigerante en la aspiración (punto 2 del diagrama).

$$V_{esp} = 0,10 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Para conocer el volumen aspirado, debemos tomar el dato del volumen específico del vapor en el punto de aspiración (punto 2).

$$V_r = 0,1 \text{ m}^3/\text{kg} \times 112,5 \text{ kg/h} = 11,25 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Potencia teórica para la compresión:

$$P_c = \Delta h \times \dot{m} = (440 - 400) \text{ kJ/kg} \times 112,5 \text{ kg/h} = 4.500 \text{ kJ/h}$$

## Actividad resuelta

8.2. Una instalación frigorífica funciona con refrigerante R134a a una temperatura de condensación de 50 °C y a una temperatura de evaporación de -10 °C. Sabemos que el recalentamiento es de 5 °C, el subenfriamiento es de 2 °C y el caudal másico es 0,05 kg/s.

- Dibuja los puntos en el diagrama.
- Calcula el calor absorbido por el refrigerante.
- Determina el calor eliminado en el condensador.
- Aporta la potencia frigorífica dando el resultado en kW y en kcal/h.
- Averigua el trabajo total de compresión.
- Establece el COP.

Solución:

- Dibujar los puntos en el diagrama.

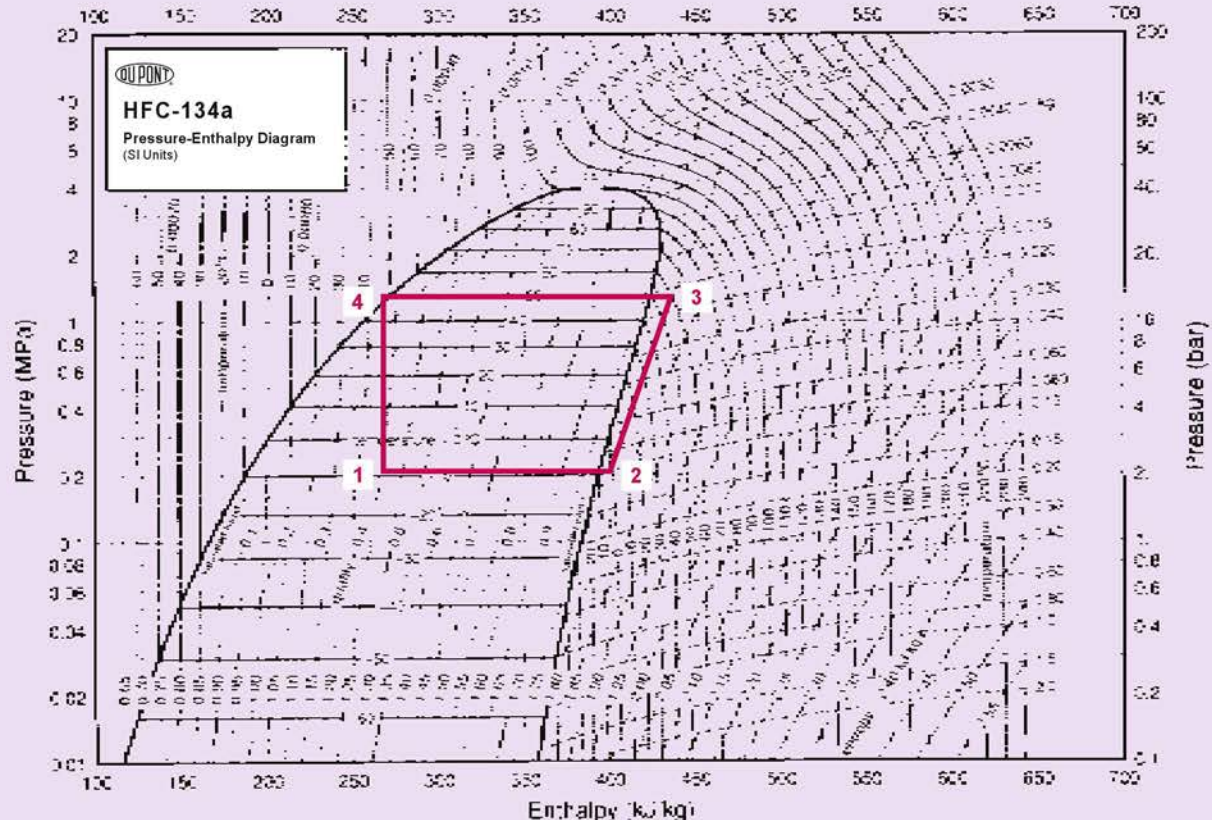


Figura 8.22. Representación del ciclo sobre el diagrama (cortesía de Dupont)



- El calor absorbido por el refrigerante:  $h_2 - h_1 = 400 - 265 = 135 \text{ kJ/kg}$
- El calor eliminado en el condensador:  $h_3 - h_4 = 440 - 265 = 175 \text{ kJ/kg}$
- La potencia frigorífica:  $(h_2 - h_1) \times \dot{m} = 135 \times 0,05 = 6,75 \text{ kg/s}$
- Equivalente térmico del trabajo de compresión:  $(h_3 - h_2) = 440 - 400 = 40 \text{ kJ/kg}$
- El COP:  $\text{COP} = 135/40 = 3,38$

### Actividad propuesta

**8.2.** Una instalación frigorífica funciona con refrigerante R134a a una temperatura de condensación de 40 °C y a una temperatura de evaporación de -5 °C. Sabemos que el recalentamiento es de 10 °C, el subenfriamiento es de 5 °C y el caudal másico es 0,1 kg/s.

- Dibuja los puntos en el diagrama.
- Calcula el calor absorbido por el refrigerante.
- Determina el calor eliminado en el condensador.
- Aporta la potencia frigorífica dando el resultado en kW.
- Averigua el equivalente térmico del trabajo total de compresión.
- Establece el COP.

### Actividad resuelta

**8.3.** Calcula el volumen desplazado sabiendo que el compresor alternativo tiene las siguientes características:

- Diámetro del pistón: 60 mm.
- Carrera: 100 mm.
- Velocidad de rotación: 1.275 r.p.m.
- Número de cilindros: 8.

**Solución:**

$$V_d = \frac{\pi D^2}{4} \times N \times L \times n \times 60 =$$

$$= \frac{\pi(0,06)^2}{4} \times 8 \times 0,1 \times 1.275 \times 60 = 173 \text{ m}^3/\text{h}$$

### Actividad propuesta

**8.3.** Calcula el diámetro del pistón sabiendo que el compresor alternativo tiene las siguientes características:

- Volumen desplazado: 300 m<sup>3</sup>/h.
- Carrera: 100 mm.
- Velocidad de rotación: 1.275 r.p.m.
- Número de cilindros: 6.

## 8.6. Motor eléctrico del accionamiento

Como vimos anteriormente, el movimiento del eje es accionado por un motor. La conexión del motor a la red eléctrica se realiza por medio de la caja de bornas que puedes ver en la Figura 8.23., los terminales mostrados están directamente unidos con los arrollamientos del motor.



Figura 8.23. Caja de bornas en compresor abierto

Los motores empleados en los compresores utilizan corriente alterna y pueden ser, en función de la potencia que necesitemos en nuestra aplicación, monofásicos (utilizados para pequeñas potencias) o trifásicos (para mayores potencias). Los motores trifásicos están formados por tres devanados desfasados  $120^\circ$  y con el rotor en configuración de jaula de ardilla y estátor bobinado, no llevan carcasa y tampoco ventilador ni cojinetes.

Los métodos de arranque utilizados para estos motores son: *part-winding*, resistencias estáticas o arranque estrella-triángulo (la más frecuente).

En los motores monofásicos, el arranque no es sencillo y, para ello, se dispone de un devanado auxiliar. Para ver el tipo de arranque requerido por el compresor, deberás consultar el folleto técnico y encontrarás que pueden ser:

- LST (*Low Starting Torque*, «Bajo Par de Arranque») en sistemas de refrigeración con dispositivo reductor de tubo capilar. Para conseguir un bajo par de arran-

que, utilizaremos un devanado resistivo que puede ser en alguna de estas configuraciones:

- **RSIR (Resistant Start Induction Run)**. Motor de arranque por resistencias.
- **RSCR (Resistant Start Capacitor Run)**. Motor de arranque por resistencias y condensador.
- HST (*High Starting Torque*, «Alto Par de Arranque») en sistemas de refrigeración con válvula de expansión y en sistemas de tubo capilar sin igualación total de presión antes de cada arranque. Para conseguir un alto par de arranque, utilizaremos un condensador en serie con el devanado, entonces tendremos:
  - **CSIR (Capacitor Start Induction Run)**. Motor de arranque con condensador.
  - **CSR (Capacitor Start Run)**. Motor con un condensador para el arranque y otro condensador de marcha.

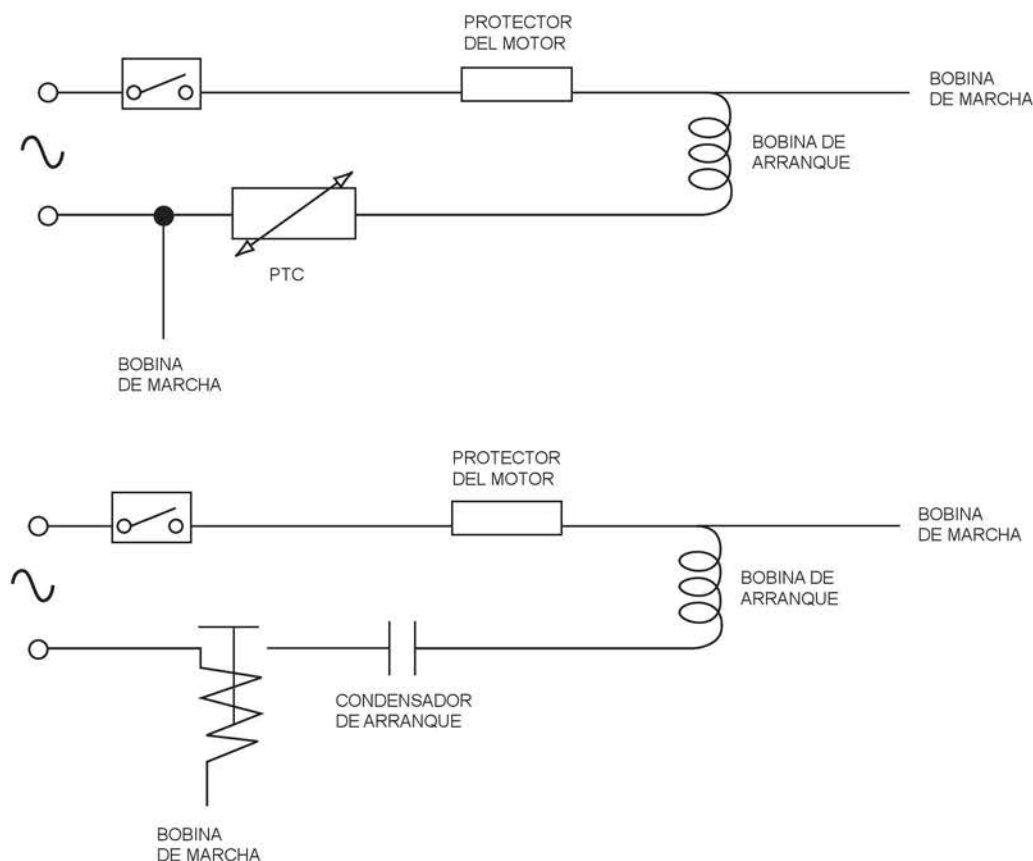


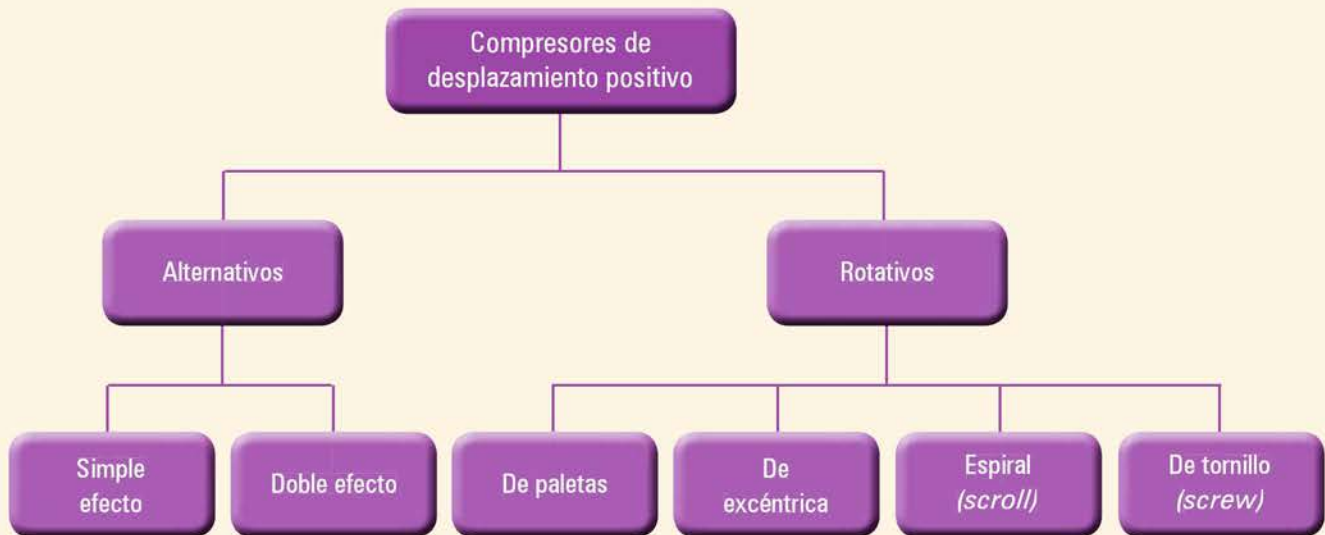
Figura 8.24. Arranque para RSIR con PTC y arranque para CSIR con condensador

#### Enlaces web de interés

<http://www.danfoss.com/Spain>

<http://www.bitzer.de/eng/Intro>

- La función del compresor es la de hacer circular el refrigerante por todo el circuito, pero también es el encargado de generar el desequilibrio de presiones entre las dos partes del mismo.
- El compresor está formado por el elemento motor, que es el encargado de mover el eje motor, y por el elemento compresor, que es donde se produce la compresión de los gases.
- En función del montaje, podemos clasificar los compresores en herméticos, semiherméticos y abiertos.
- Según su principio de funcionamiento, podemos clasificarlos en los de desplazamiento positivo, donde la compresión se consigue por una reducción volumétrica, y en los de desplazamiento cinético, en los que la compresión se consigue por medio de la fuerza centrífuga.



- Un compresor alternativo está formado por el bloque, la culata, el cárter, el cigüeñal, la biela, el pistón, el cilindro y las válvulas de aspiración y de descarga.
- Las fases del ciclo teórico de compresión son reexpansión, aspiración, compresión y descarga.
- Para la selección del compresor, deben tenerse en cuenta los siguientes parámetros: la capacidad de refrigerante requerida (kcal/h) y su evolución en función del tiempo durante el funcionamiento previsible de la instalación, la temperatura de evaporación (°C) y la temperatura de condensación (°C).

## ■ Actividades de comprobación

- 8.1.** El elemento motor del compresor es el encargado de:
- Producir la compresión de los gases refrigerantes.
  - Producir el movimiento giratorio que se transmite para realizar la compresión a través de un eje.
  - Producir la evaporación de refrigerante.
  - Ninguna de las anteriores es correcta.
- 8.2.** Indica la afirmación correcta:
- Los compresores de excéntrica constan de un rotor con paletas montado en el interior de un cilindro cuyos centros están ligeramente desplazados.
  - Los compresores de tornillo regulan la potencia utilizando una válvula corredera.
  - Los compresores de scroll constan de un rotor excéntrico respecto al cilindro donde se aloja.
  - Los compresores de paletas constan de dos discos horizontales enfrentados que llevan soldadas sendas pletinas dispuestas en forma de hélice o espiral sobre su superficie.
- 8.3.** ¿Cuáles son los elementos de los que constan los compresores de tornillo?
- Rotor primario y secundario.
  - Disco horizontal y vertical.
  - Resortes y paletas.
  - Bloque y pistones.
- 8.4.** Qué compresor usa un acoplamiento:
- Hermético.
  - Abierto.
  - Scroll.
  - Semihermético.
- 8.5.** En el lado de alta presión del compresor, es habitual encontrar:
- Condensador.
  - Línea de líquido.
  - Recipiente de líquido.
  - Motor.
- 8.6.** La biela es:
- Un elemento que está en contacto con el gas y que provoca la aspiración, la compresión y la descarga del fluido refrigerante con su movimiento alternativo.
  - Un elemento que une el pistón con el eje del cigüeñal.
  - Un elemento que cierra el cilindro por la parte superior.
  - Un elemento que transmite el movimiento del motor para transformarlo de giratorio en alternativo.
- 8.7.** Señala la respuesta correcta:
- Los compresores semiherméticos son desmontables solo para reparaciones.
  - Los compresores herméticos son desmontables solo para reparaciones.
  - Los compresores scroll utilizan acoplamientos.
  - Los compresores abiertos son desmontables solo para reparaciones.
- 8.8.** El refrigerante en estado líquido no puede llegar a:
- La válvula de expansión.
  - El filtro deshidratador.
  - El visor de líquido.
  - El compresor.
- 8.9.** Un compresor de paletas tiene que tener como mínimo:
- Una paleta.
  - Dos paletas.
  - Tres paletas.
  - No es necesario que tenga paletas.
- 8.10.** Los compresores que permiten solamente el acceso a los elementos que componen la zona de compresión se denominan:
- Compresores herméticos.
  - Compresores abiertos.
  - Compresores semiherméticos.
  - Ninguna es correcta.
- 8.11.** La resistencia del cárter sirve para:
- Se utiliza para calentar el metal del motor porque el calor facilita la fricción de piezas internas.
  - Se encarga de calentar el aceite para que se desprenda del refrigerante que tenga disuelto en su interior.
  - Se utiliza para calentar el refrigerante cuando la máquina está en marcha para que luego genere más frío al llegar al evaporador.

## Actividades de aplicación

**8.12.** Tenemos un compresor alternativo con 4 cilindros que giran a 1.200 r.p.m. El radio de los cilindros es de 3 cm y la carrera del pistón es de 60 cm. La presión de aspiración es de 2 bar y la presión de descarga es de 10 bar. Calcula:

- El volumen teórico desplazado por el compresor expresado en  $\text{m}^3/\text{h}$ .
- El volumen real desplazado por el compresor expresado en  $\text{m}^3/\text{h}$  si el rendimiento volumétrico es de 0,87.
- La relación de compresión.

**8.13.** Indica la diferencia entre compresores de desplazamiento positivo y centrífugo.

**8.14.** Explica las partes principales de un compresor de tornillo abierto e indica en qué tipo de instalaciones suele utilizarse.

**8.15.** Clasifica los siguientes compresores:

- Scroll.
- De tornillo.
- De paletas.
- Hermético.

**8.16.** En la figura siguiente, está representado un ciclo frigorífico sobre el diagrama p-h del refrigerante R404A. Obtén los siguientes valores aproximados interpretando el gráfico:

- Temperatura de evaporación.
- Temperatura de condensación.
- Temperatura de líquido y entalpía específica en la entrada de la válvula de expansión.
- Presión de evaporación.
- Temperatura, entalpía específica y volumen específico del gas de aspiración.
- Temperatura y entalpía específica del gas de descarga.
- Presión de condensación.
- Calor absorbido.
- Equivalente térmico del trabajo del compresor.
- Relación de compresión.
- Densidad del gas de aspiración.

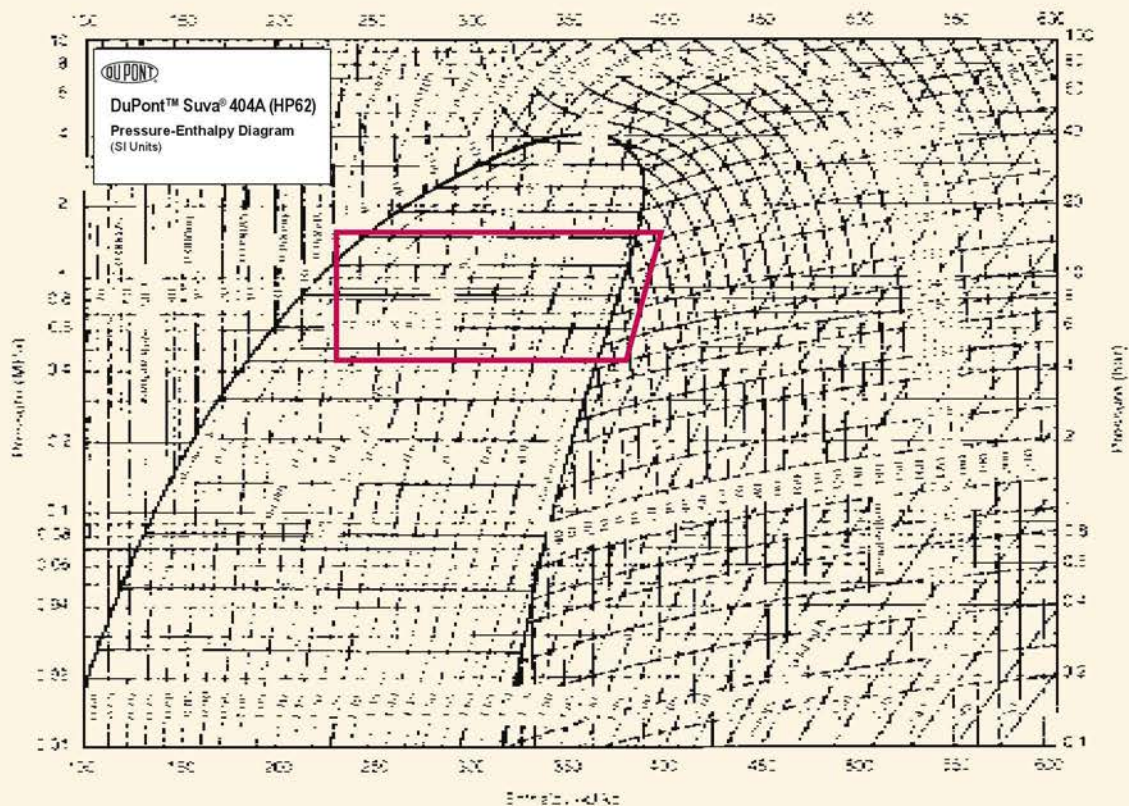


Figura 8.25. Ciclo frigorífico sobre diagrama p-h de R404A

**8.17.** Indica qué tipo de compresores utilizan los siguientes elementos:

- Pistones.
- Engranajes.
- Correas.

**8.18.** Explica cómo se produce la compresión e indica qué ocurre en la carrera ascendente y descendente del pistón. Realiza un dibujo para explicarlo y señala todas las partes importantes, como pueden ser las válvulas, los volúmenes, la carrera, etc.

**8.19.** Para una instalación de R717 con las siguientes características: temperatura de evaporación de  $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ , temperatura de condensación de  $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ , recalentamiento de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  y potencia frigorífica de  $200.000\text{ kcal/h}$ . Calcula:

- Producción frigorífica.
- Caudal de refrigerante.
- Equivalente de trabajo de compresión.
- Relación de compresión.

**8.20.** Calcula el volumen desplazado sabiendo que un compresor alternativo tiene las siguientes características:

- Diámetro del pistón:  $100\text{ mm}$ .
- Carrera:  $100\text{ mm}$ .
- Velocidad de rotación:  $1.300\text{ r.p.m.}$
- Número de cilindros:  $6$ .

**8.21.** Argumenta por qué es importante regular la capacidad de un compresor.

**8.22.** Explica las partes en las que se divide el motor eléctrico de un compresor.

**8.23.** Cuando se emplean mezclas de refrigerantes zeotrópicos, la carga se realizará en fase líquida, de tal forma que el fluido se expanda en el dispositivo que incorpora el evaporador.

Indica por qué se realiza la carga en estado líquido y qué ocurriría en caso de que llegara refrigerante en estado líquido al compresor.

**8.24.** Según el reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas en el caso de compresores herméticos o semiherméticos, la potencia instalada será la máxima potencia consumida por el motor en el rango de condiciones de aspiración y descarga permitidos por el

fabricante en su catálogo. Busca los valores de potencia que suelen dar los fabricantes para el compresor y haz una tabla resumen con los datos obtenidos.

**8.25.** El refrigerante R717, es decir, el amoníaco, se emplea en compresores abiertos ya que es corrosivo y puede producir daños en el motor. Describe cómo se realiza el acoplamiento entre la zona del motor y la de compresión en los compresores abiertos.

**8.26.** En un compresor alternativo de pistones, conocemos los datos técnicos facilitados por el fabricante, que se recogen en la tabla siguiente.

Datos técnicos	
Volumen desplazado (1.450 r.p.m. a 50 Hz)	5,21 m <sup>3</sup> /h
N.º de cilindros x diámetro x carrera	2 x 34 mm x -----
Código del motor	40S
Tensión del motor (otro bajo demanda)	220-240 V Δ/3/50 Hz 380-420 V Y/3/50 Hz
Intensidad máxima en funcionamiento	3,5 A (Y)
Consumo de potencia máximo	1,9 kW
Intensidad en arranque (rotor bloqueado)	25,6 A / 14,8 A (Δ/Y)
Clase de protección	IP65
Peso	43 kg
Presión máxima (BP/AP)	19 / 28 bar
Conexión línea aspiración	16 mm
Conexión línea descarga	12 mm
Carga de aceite	1,00 dm <sup>3</sup>
Resistencia del cárter (autorreguladora)	Max. 60 W
Tipo de aceite R134a // R407A/C/F // R404A // R507A	tc < 55 °C: BSE32 tc > 55 °C: BSE55

A partir de los datos anteriores, calcula:

- El dato técnico de la carrera que no aparece en la tabla.
- El volumen desplazado cuando la velocidad cambia a  $1.750\text{ r.p.m.}$  a  $60\text{ Hz}$ .

## Actividades de ampliación

**8.27.** Investiga cómo puede llevarse a cabo la regulación de capacidad de los compresores de pistones y de tornillo. Puedes encontrar información en: <http://www.danfoss.com/Spain> y <http://www.bitzer.de/eng/Intro>.

# Válvulas de expansión y elementos anexos al circuito

# 9



Además de los cuatro elementos básicos del circuito frigorífico —compresor, condensador, evaporador y expansor—, existen una serie de elementos anexos al circuito que permiten la regulación y el control de las instalaciones. El objetivo de un circuito frigorífico es retirar el calor de un determinado espacio absorbiendo ese calor el refrigerante, pero, para que el funcionamiento sea óptimo, tenemos que tener controlados en todo momento parámetros como la presión, la temperatura, la suciedad o la humedad del refrigerante. Para ello, contaremos con otra serie de componentes que describiremos a lo largo de la unidad didáctica.

## Contenidos

- 9.1. Circuito frigorífico completo: dispositivos de expansión
- 9.2. Válvulas de expansión termostáticas
- 9.3. Presostatos
- 9.4. Termostato
- 9.5. Válvula solenoide
- 9.6. Separador de aceite
- 9.7. Filtro deshidratador
- 9.8. Visor de líquido
- 9.9. Deposito de líquido
- 9.10. Separador de líquido
- 9.11. Intercambiador de calor
- Resumen
- Actividades finales

## Objetivos

- Conocer la función de las válvulas de expansión y de los elementos anexos al circuito.
- Clasificar los dispositivos de expansión.
- Distinguir los diferentes usos de los tipos de expansores.
- Conocer el funcionamiento de las válvulas de expansión.

## 9.1. Circuito frigorífico completo: dispositivos de expansión

El elemento expansor, junto con el compresor, dividirá el circuito en dos partes, una con altas presiones y otra con bajas presiones, lo cual permite que el refrigerante en el evaporador se mantenga a baja presión y en el condensador, a alta. En la Figura 9.1., aparece el circuito frigorífico que servirá para ir analizando todos sus elementos.

El expansor suministra el refrigerante al evaporador, pero **¿cómo sabemos que la cantidad de refrigerante que le llega es la adecuada? ¿Cómo podemos regular el recalentamiento?** Para responder a estas preguntas, veremos que existen distintos dispositivos de expansión. De tal forma que, por ejemplo, las válvulas termostáticas varían la cantidad de refrigerante que llega al evaporador dependiendo de las necesidades de cada momento. Por el contrario, en las válvulas manuales, hay que llevar un control constante del refrigerante ya que, en caso de no ser así, podría llegar líquido al compresor o dejar sin refrigerante al evaporador.

Teniendo en cuenta lo anterior, podemos decir que las principales funciones de un dispositivo de expansión son:

- **Mantener las presiones en el lado de alta y de baja**, lo que permite que la evaporación se realice a bajas presiones y la condensación a altas, de tal for-

ma que, a la entrada del expansor, tendremos refrigerante líquido a alta presión y a la salida lo tendremos en estado de mezcla líquido-vapor a baja presión.

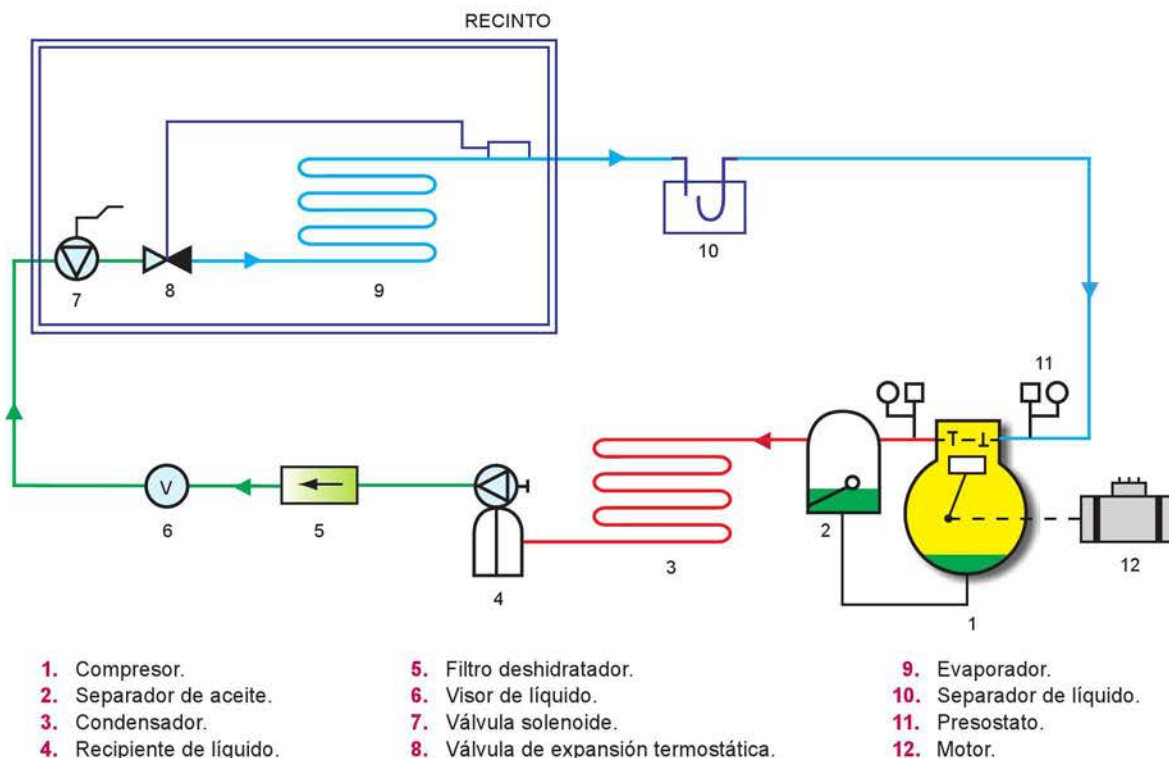
- **Controlar la entrada de refrigerante en el evaporador** dependiendo de la cantidad de calor que el refrigerante tenga que absorber para realizar el cambio de estado (evaporación).
- **Controlar el recalentamiento**, de tal forma que se impida la llegada de refrigerante en estado líquido al compresor.

### RECUERDA

El dispositivo de expansión no intercambia energía en forma de trabajo ni de calor, por lo que la entalpía no varía entre la entrada y la salida del elemento.

Los principales tipos de dispositivos de expansión que existen son:

- **Tubo capilar.** Es el más sencillo, consiste en un tubo de pequeño diámetro que une el condensador con el evaporador. Se emplea en equipos simples como, por ejemplo, las neveras domésticas. Suele suministrarse en rollos y sus características fundamentales son el diámetro y la longitud.





- **Válvula de expansión manual.** No es muy empleado ya que el caudal de refrigerante que pasa a través de ella se regula manualmente, por ello, en su utilización, sería necesaria una persona que cerrara o abriera la válvula cuando fuera necesario restringir el paso de líquido. Tienen limitado su uso a instalaciones donde el caudal es constante y también son empleadas como elemento regulador colocadas en *by-pass* con otra válvula de expansión.
- **Válvula de expansión termostática.** Se trata de la válvula más ampliamente utilizada en las instalaciones frigoríficas porque permite tener un control total sobre la cantidad de refrigerante en el evaporador.

## 9.2. Válvulas de expansión termostáticas

Una válvula de expansión es un dispositivo básico en sistemas de refrigeración. Sus funciones son dos: controlar el caudal de refrigerante en estado líquido que ingresa al evaporador y sostener un sobrecalentamiento constante a la salida de este.



Figura 9.2. Válvula de expansión

### 9.2.1. Funcionamiento

Estas válvulas permiten controlar el recalentamiento, de tal forma que este se mantenga entre 4 y 6 °C y se impida la llegada de refrigerante en estado líquido al compresor. Si queremos disminuir el recalentamiento, se abrirá la válvula para que se deje pasar más refrigerante al evaporador. Si queremos aumentarlo, se cerrará la válvula para permitir menor paso de refrigerante.

Para comprender el funcionamiento de estas válvulas, lo primero que debemos ver son las partes de las que constan.

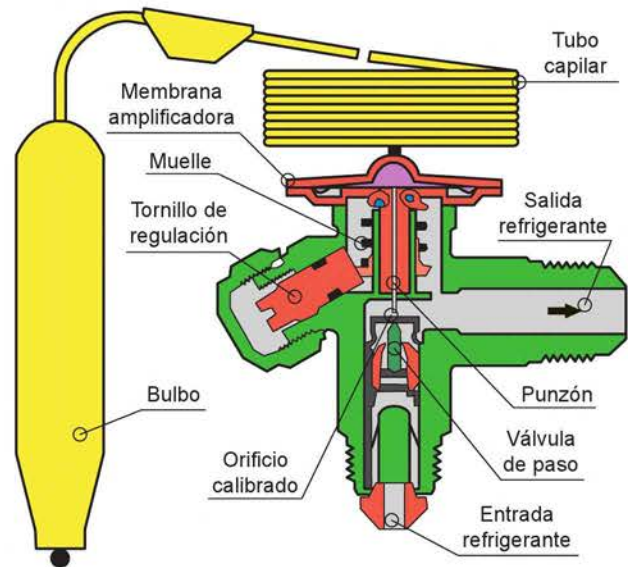


Figura 9.3. Partes de una válvula de expansión termostática

### SABÍAS QUE...

La válvula de expansión termostática se representa con las siglas VET o VXT y, en caso de que tenga equilibrado externo, sus siglas son VETX y así puedes encontrarlas en los catálogos de los fabricantes.

Cuando cerramos la válvula, circulará menos fluido hacia el evaporador y, si la abrimos, circulará más. Si el refrigerante que llega al evaporador disminuye, debemos asegurarnos de que no es debido a una fuga antes de manipular el tornillo.

- **Bulbo.** Su interior contiene el mismo refrigerante que tiene la instalación en la que va a ir colocado. Se sitúa sobre la tubería de salida del evaporador en posición horizontal, de forma tal que permite transmitir las condiciones del refrigerante a la salida del evaporador.
- **Membrana amplificadora.** Es una lámina fina metálica que recibe las presiones de salida del evaporador, de entrada del refrigerante y del muelle y permite en función de ellas la apertura o el cierre del orificio calibrado para que pase mayor o menor cantidad de refrigerante hacia el evaporador.
- **Orificio calibrado y filtro.** El orificio calibrado es el lugar donde se produce realmente la expansión, dependiendo de las presiones, se produce su cierre o su apertura al subir o al bajar el punzón. El orificio es intercambiable y los números que aparecen indican la capacidad de la válvula. El filtro es una malla metálica que impide que entren sustancias extrañas que podrían obturar el orificio.

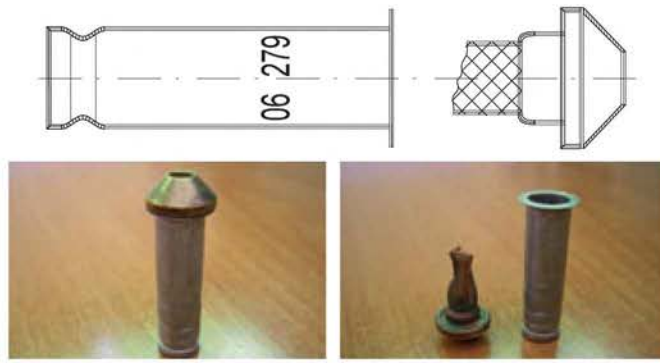


Figura 9.4. Orificio calibrado y filtro

- **Punzón.** Con su desplazamiento, permite la apertura o el cierre del orificio calibrado.
- **Tornillo de regulación.** Permite regular la presión del muelle, que se transmitirá a la membrana, por lo tanto, permite la regulación directa de la cantidad de refrigerante que llega al evaporador.

Sobre la membrana, actuarán tres presiones que determinarán si se abre la válvula y pasa más refrigerante hacia el evaporador o si se cierra y pasa menos.

- **Presión de muelle (Pm).** Se aplica por la parte inferior de la membrana a través del punzón. Hace que la válvula se cierre cuanto mayor sea.
- **Presión de bulbo (Pb).** Se aplica por la parte superior de la membrana. Nos indica la presión a la salida del evaporador, la válvula se abrirá si tenemos una presión alta para permitir que pase más refrigerante hacia el evaporador.
- **Presión de evaporación (Pe).** Se transmite a través de una abertura que hay en el interior del cuerpo de la válvula, por eso se llaman *válvulas termostáticas con igualador interno*. Se aplica por la parte inferior, de tal forma que, cuanto mayor sea la presión, más tenderá a cerrarse la válvula.

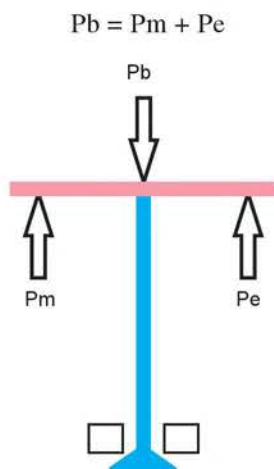


Figura 9.5. Presiones de una válvula de expansión termostática

Si  $P_b$  es mayor que la suma de  $P_m$  y de  $P_e$ , la válvula tenderá a abrirse y, en el caso contrario, tenderá a cerrarse.

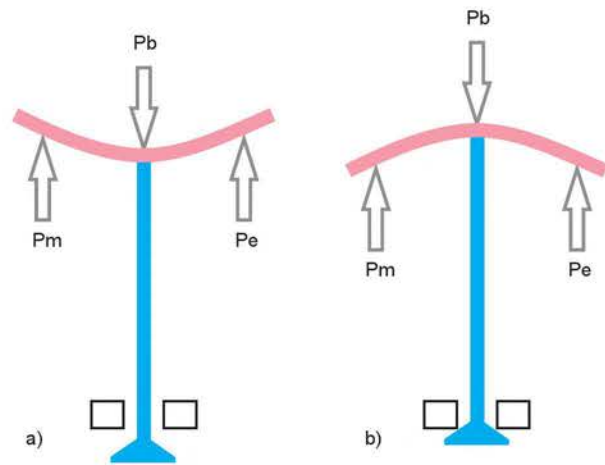


Figura 9.6. Válvula de expansión abierta (a) y cerrada (b)

Las válvulas termostáticas trabajan según el recalentamiento del fluido refrigerante a la salida del evaporador medido en el bulbo. De esta forma, podemos calcular el recalentamiento con la siguiente fórmula:

$$\text{Recalentamiento} = T^{\text{a}} \text{ bulbo} - T^{\text{a}} \text{ evaporación (4-6 } ^{\circ}\text{C)}$$

- Será bajo si es menor de 3 o 4 °C. Puede llegar refrigerante en estado líquido al compresor y darse el temido golpe de líquido.
- Será alto si está entre 6 y 11 °C. Aparecería escarcha en la parte más próxima a la entrada del evaporador, con lo que la superficie útil del mismo disminuye.

#### ■ RECUERDA

El bulbo de una válvula termostática siempre debe ir cargado con el mismo refrigerante que lleve la instalación. Por eso, existen válvulas específicas para cada tipo de refrigerante. El refrigerante del bulbo puede estar en estado líquido, vapor o mezcla.

### ■ ■ 9.2.2. Válvula de expansión termostática con igualador externo

Cuando las instalaciones llevan grandes evaporadores, es necesario colocar válvulas de expansión termostáticas que permitan compensar la pérdida de carga que se produce debido a la gran longitud de tubería del evaporador. Son similares a las del igualador interno, solo que la presión de evaporación llega a través de un tubo que va conectado a la salida del evaporador por la parte superior de la tubería y

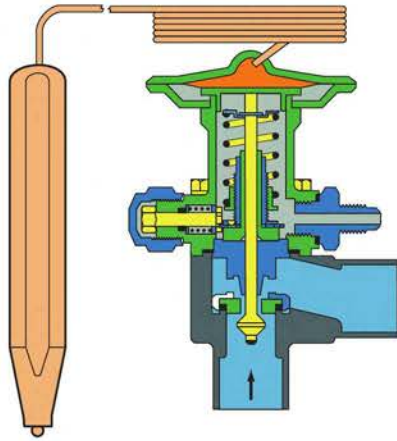


Figura 9.7. Válvula de expansión termostática con igualador externo

siempre después del bulbo. Es conveniente recordar que el igualador externo siempre debe ir conectado para el correcto funcionamiento del equipo.

Así pues, en este caso, las presiones con las que contamos serán:

- Presión de bulbo.
- Presión de muelle.
- Presión de evaporación menos la pérdida de presión que se produzca a lo largo de las tuberías del evaporador.

### SABÍAS QUE...

Cuando el evaporador tiene varios circuitos de tubos paralelos, se colocan boquillas distribuidoras que permiten conectar el expansor con el evaporador. El montaje de la boquilla debe ser de forma que el fluido refrigerante se desplace verticalmente hacia abajo.



### 9.2.3. Válvula de expansión termostática tipo MOP

Se trata de un tipo de válvula que limita la presión y protege al compresor de presiones demasiado altas en la aspiración que puedan provocar una sobrecarga.

#### Actividad resuelta

9.1. En una instalación, contamos con un evaporador de pequeño tamaño alimentado por una válvula de expansión. Sabiendo que el refrigerante utilizado es R134a, que la presión de evaporación es de 3 bar y la del muelle de 0,7 bar, indica:

- Tipo de válvula de expansión que se utilizaría.
- La presión crítica para permitir la apertura o el cierre de la válvula.
- El recalentamiento que existiría en el evaporador.

#### Solución:

Puesto que el evaporador es de pequeño tamaño, consideramos que no hay pérdidas de presión, así que la válvula termostática que se instala es con igualador interno. El refrigerante del bulbo de la válvula termostática también será R134a.

- Sabiendo que  $P_b = P_m + P_e$ , tenemos que  $P_b = 3 + 0,7 = 3,7$  bar de presión. Si la presión de bulbo está por encima de ese valor, la válvula se abrirá y, si está por debajo, se cerrará.
- Para ver el recalentamiento, es necesario utilizar el diagrama de Mollier, en el podemos ver que:
  - Para una presión de evaporación de 3 bar, tenemos 0 °C.
  - Para una presión en el bulbo de 3,7 bar, tenemos 7 °C.
  - Por tanto, tendríamos un recalentamiento de 7 °C.

**Actividad propuesta**

9.1. En un almacén frigorífico que utiliza R404A, se ha colocado una válvula de expansión cuya presión en el muelle es de 1,7 bar y la presión de evaporación es de 2,5 bar. Responde a las siguientes cuestiones:

- ¿Qué tipo de válvula de expansión se habrá instalado?
- ¿Cuál será la presión de bulbo que permitirá la apertura de la válvula?

**Actividad propuesta**

9.2. Un equipo de aire acondicionado al que se le ha cambiado el evaporador lleva instalada una válvula termostática con igualador interno y se observa que el recalentamiento de la instalación es elevado. Explica a qué puede ser debido.

## 9.3. Presostatos

Los presostatos son elementos de regulación y de seguridad que permiten abrir o cerrar la instalación. Son interruptores eléctricos que actúan por presión y pueden ser abiertos o cerrados.

Existen distintos tipos:

- **Presostato de alta presión.** Regula la presión en la descarga del compresor y permite su corte si se eleva por encima de un determinado valor.

- **Presostato de baja presión.** Tiene una función reguladora y de seguridad ya que cierran el circuito en el caso de que la presión en la aspiración del compresor caiga por debajo de su nivel de funcionamiento.
- **Presostato mixto.** Combinación en un solo elemento del presostato de alta y del presostato de baja.



Figura 9.8. Presostato mixto (cortesía de Danfoss)

- **Presostato de aceite.** Su función es de seguridad y actúa en caso de que la diferencia de presiones del aceite entre la aspiración y la descarga del compresor caiga por debajo de un determinado valor. Estos presostatos cuentan con un relé temporizado, de tal forma que introducen un pequeño retardo porque la

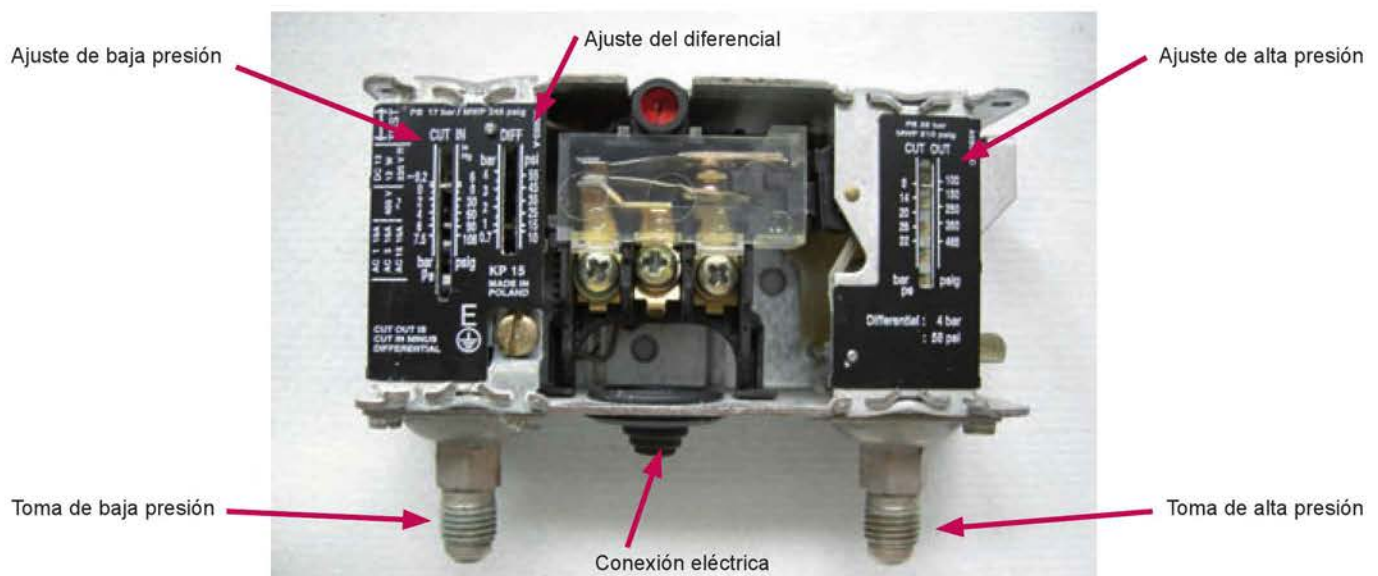


Figura 9.9. Partes de un presostato mixto con ajustes de alta presión, baja presión y diferencial

caída de presión puede darse en momentos de arranque del compresor. Cuentan con una escala de alta presión, otra de baja y otra diferencial, que nos indica la diferencia de presiones entre el arranque y el paro.

### Actividad propuesta

- 9.3. Indica el diferencial que marcará un presostato combinado sabiendo que el circuito emplea refrigerante R134a y tiene unas temperaturas de apertura y de cierre del circuito de -8 y de -13 °C.

### Actividad propuesta

- 9.4. Busca en los catálogos de algún fabricante de presostato, por ejemplo, Danfoss, e indica en qué unidades de presión suelen aparecer las escalas de presión.

## 9.4. Termostato

Elementos de regulación que abren o cierran un circuito eléctrico cuando se alcanza una determinada temperatura en el recinto a refrigerar, de tal forma que el compresor se para cuando se ha alcanzado la temperatura deseada. Son interruptores eléctricos que actúan por temperatura.

Existen distintos tipos de termostatos:

- **Bimetálicos.** Actúan en función de las deformaciones de dos metales.
- **De bulbo.** Cuentan con un bulbo similar a las válvulas de expansión termostáticas que contiene un gas. Actúan en función de la presión del gas que contiene el bulbo, de tal forma que, al variar la temperatura, también variará la presión de ese gas, lo que permitirá la apertura o el cierre del circuito.



Figura 9.10. Termostato de bulbo (cortesía de Danfoss)

### Actividad propuesta

- 9.5. La apertura o el cierre del circuito en función de la temperatura cuenta con un pequeño margen para impedir que el circuito esté continuamente cerrándose y abriéndose. Es decir, que, dentro de una cámara de productos frescos en la que quieren mantenerse 0 °C en el termostato, tan solo se abrirá o se cerrará el circuito cuando tengamos una diferencia con esa temperatura de +/-3 °C. Indica cuáles serían las temperaturas de apertura y de cierre para este ejemplo.

### Actividad propuesta

- 9.6. Un almacén frigorífico cuenta con tres cámaras de las siguientes características:

- Cámara para alcachofas: 0 °C.
- Cámara para guisantes congelados: -18 °C.
- Cámara para lechugas: 1 °C.

Si en las tres cámaras tenemos un diferencial de +/-4 °C en el termostato, determina las temperaturas de apertura y de cierre del circuito para cada caso.

## 9.5. Válvula solenoide

Se trata de una válvula eléctrica que consta de una bobina y de un vástago que sube o baja dependiendo de si llega corriente eléctrica al bobinado. Cuando llega corriente a la bobina, el vástago sube y permite el paso del refrigerante. En caso de que la bobina no se active, el paso de refrigerante se mantiene cortado.

Existen distintos tipos de válvulas solenoides y su tamaño depende del flujo de refrigerante que circula por ellas.

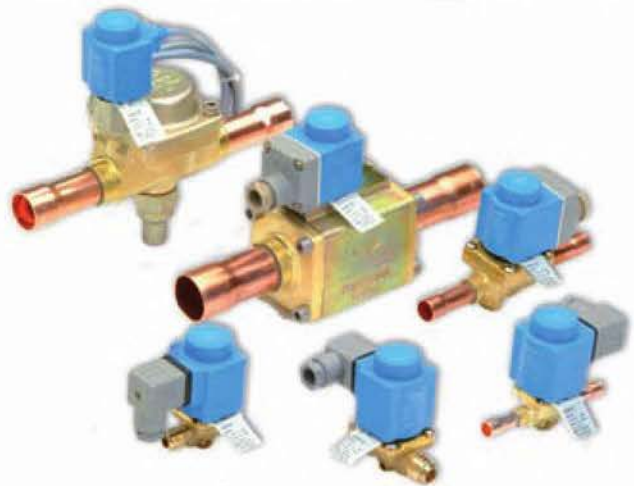


Figura 9.11. Válvulas solenoide (cortesía de Danfoss)

Para instalaciones pequeñas, se emplean las de acción directa y, para instalaciones grandes, las que actúan por piloto, en las que, además de la acción de la bobina, se tiene en cuenta la presión de la tubería sobre la que van instaladas.

## 9.6. Separador de aceite

Se coloca para evitar el paso de aceite al circuito, que podría acumularse en el evaporador, y asegurar su retorno al cárter del compresor. Se coloca en la tubería de descarga a la salida del compresor.

No siempre es necesaria su colocación ya que el aceite puede ir junto con el refrigerante y hacer el recorrido completo del circuito para, finalmente, regresar al compresor. Pero hay situaciones en las que sí se hace necesaria su colocación:

- Si el refrigerante no es miscible con el aceite.
- Si las características de las tuberías o de los elementos del circuito no facilitan el retorno del aceite.
- Si se emplean compresores que facilitan la salida del aceite hacia el circuito.
- En instalaciones en las que se alcancen bajas temperaturas.



Figura 9.12. Separador de aceite (cortesía de Danfoss)

### SABÍAS QUE...

Las instalaciones que emplean como refrigerante el amoníaco deben llevar separador de aceite ya que este, al no ser miscible con el aceite, tiende a separarse (en mayor medida en las partes bajas del circuito).

## 9.7. Filtro deshidratador

La entrada de humedad se produce en el circuito por la entrada de aire (que tiene un alto contenido de agua) pudiendo entrar en el circuito durante labores de mantenimiento o reparaciones, durante la carga de refrigerante o de aceite. Puede provocar taponamientos del circuito por la formación de hielo en lugares como el expansor o en las curvas de tuberías. También puede provocar oxidación que ataque a partes del circuito.

Los filtros deshidratadores, además de retener la humedad, eliminan la suciedad que pueda llevar el refrigerante y se colocan en la tubería de líquido en la posición indicada por el fabricante.



Figura 9.13. Filtros deshidratadores (cortesía de Danfoss)

Existen filtros que cuentan con cartuchos recargables:



Figura 9.14. Filtros con cartuchos recargables (cortesía de Danfoss)

### SABÍAS QUE...

Para colocar en instalaciones de bomba de calor, existen filtros deshidratadores que son reversibles, es decir, que funcionan en los dos sentidos.

### RECUERDA

El visor de líquido debe ir colocado después del filtro para asegurarnos de que el filtro ha absorbido toda la humedad.



## 9.8. Visor de líquido

Se instala en la tubería de líquido. Su función es doble:

- Garantizar que todo el refrigerante está en **estado líquido**, de tal forma que, a través del pequeño cristal que tiene el visor, no se vean burbujas de vapor.
- Garantizar que el circuito está **libre de humedad**. Para ello, el visor lleva un indicador cromático en el centro: si el color es verde es que el contenido de humedad es admisible, si es amarillo es que hay demasiada humedad.



Figura 9.15. Visores de líquido (cortesía de Danfoss)

## 9.9. Depósito de líquido

También llamado *recipiente* o *acumulador de líquido*, se sitúa a la salida del condensador y tiene la función de almacenar refrigerante:

- Para los momentos en los que aumente la demanda, ya que tendremos variaciones en el caudal de refrigerante que atraviesa la válvula de expansión. Por ello, a excepción de que se utilice un tubo capilar, su uso es obligatorio.
- Cuando sea necesario por motivos de mantenimiento o por avería.

En la Figura 9.17., pueden observarse dos unidades condensadoras en las que aparecen montados sobre una banqueta los siguientes elementos: el compresor, el condensador y, a continuación de este, el recipiente de líquido. En este caso, los dos están en posición horizontal.



Figura 9.16. Unidades condensadoras (cortesía de Danfoss)



Figura 9.17. Válvulas de seguridad (cortesía de Danfoss)

Existen depósitos horizontales y verticales. Son equipos a presión, por lo que llevarán válvulas de seguridad instaladas.

## 9.10. Separador de líquido

Se instala entre el evaporador y el compresor. Su función es impedir que llegue refrigerante en estado líquido al compresor, de tal forma que, si el evaporador trabaja en régimen inundado, es decir, que, a la salida, tenemos refrigerante en estado líquido, el separador de líquido permitirá que todo el refrigerante llegue al compresor en estado vapor.

## 9.11. Intercambiador de calor

Se instalan intercambiadores de calor a contracorriente en las instalaciones en las que quiere aprovecharse el calor del vapor procedente del evaporador al mismo tiempo que se enfría el líquido procedente del condensador.

De esta forma, se consigue:

- Aumentar el rendimiento ya que el refrigerante que llega a la válvula de expansión llega a una temperatura menor.
- Asegurarse de que no llega refrigerante en estado líquido al compresor.

En estos casos, el bulbo de la válvula termostática se coloca a la salida del evaporador y siempre antes del intercambiador de calor.



Figura 9.18. Intercambiador de calor (cortesía de Danfoss)

### Actividad propuesta

- 9.7. Carly y Danfoss son fabricantes de distintos componentes de la instalación frigorífica y, en sus páginas web, podrás encontrar unos programas para la selección de elementos. Trata de seleccionar los elementos para una instalación frigorífica.



La función, los tipos, las partes y el funcionamiento de los dispositivos de expansión serán los siguientes:

	Función	Tipos		Partes	Funcionamiento
<b>Dispositivos de expansión</b>	Mantener las presiones en el lado de alta y de baja y controlar la entrada de refrigerante en el evaporador.	El tubo capilar		Tubo de pequeño diámetro.	
		La válvula de expansión manual			El caudal de refrigerante que pasa a través de ella se regula manualmente.
		La válvula de expansión termostática:	con igualador interno	Bulbo, membrana, orificio calibrado, filtro, punzón y tornillo de regulación.	Sobre la membrana, actuarán tres presiones. Si $P_b > P_m + P_e$ , la válvula se abre.
			con igualador externo (evaporadores grandes)		A presión de evaporación se le restará la caída de presión a lo largo del evaporador.
MOP		Limita la presión para que, cuando se detecte una presión demasiado alta en el compresor, este no se sobrecargue.			

De los elementos anexos al circuito, podemos nombrar como principales los siguientes:

Elemento	Tipos	Función
<b>Presostatos</b>	De alta presión	Son interruptores eléctricos que actúan por presión.
	De baja presión	
	Mixto	
	De aceite	
<b>Termostato</b>	Bimetálicos	Abre o cierra un circuito eléctrico cuando se alcanza una determinada temperatura en el recinto a refrigerar. Son interruptores eléctricos que actúan por temperatura.
	De bulbo	
<b>Válvula solenoide</b>		Permite la apertura o cierre del circuito (permitiendo o impidiendo el paso de refrigerante) dependiendo de una señal eléctrica.
<b>Separador de aceite</b>		Evitar el paso de aceite al circuito, que podría acumularse en el evaporador, y asegurar su retorno al cárter del compresor.
<b>Filtro deshidratador</b>		Retiene la humedad y elimina la suciedad que pueda llevar el refrigerante.
<b>Visor de líquido</b>		Garantiza que todo el refrigerante que pasa por la línea de líquido está en estado líquido y libre de humedad.
<b>Depósito de líquido</b>		Se sitúa a la salida del condensador y tiene la función de almacenar refrigerante.
<b>Separador de líquido</b>		Impide que llegue refrigerante en estado líquido al compresor.
<b>Intercambiador de calor</b>		Se utiliza en las instalaciones en las que quiere aprovecharse el vapor procedente del evaporador al mismo tiempo que se enfría el líquido procedente del condensador.

### ■ Actividades de comprobación

- 9.1.** La función del dispositivo de expansión es:
- Permitir la entrada de refrigerante al condensador.
  - Que el refrigerante pase de bajas a altas presiones.
  - Regular la entrada de refrigerante al compresor.
  - Que el refrigerante pase de altas a bajas presiones.
- 9.2.** Señala la respuesta correcta:
- El los frigoríficos de las viviendas, suele utilizarse como dispositivo de expansión una válvula termostática.
  - Las válvulas termostáticas con igualador externo se utilizan en evaporadores pequeños.
  - Las válvulas termostáticas con igualador externo pueden utilizarse para las mismas aplicaciones que las que tienen igualador interno y este se deja sin conectar.
  - Ninguna de las anteriores es correcta.
- 9.3.** En una válvula termostática, las presiones que permiten su apertura son:
- La presión de evaporación y la de muelle.
  - La presión de bulbo y la de muelle.
  - La presión de bulbo.
  - Ninguna respuesta es correcta.
- 9.4.** El bulbo de una válvula termostática lo montaremos:
- A la salida del condensador.
  - A la salida del expansor.
  - A la salida del evaporador.
  - A la salida del compresor.
- 9.5.** Las válvulas termostáticas con línea de equilibrio son semejantes a las termostáticas, pero tienen, además:
- Un tubo que transmite la presión que tenemos al final del condensador.
  - Un tubo que transmite la presión que tenemos al final del evaporador y antes del bulbo de la propia válvula termostática.
  - Un tubo que transmite la presión que tenemos al final del evaporador y después del bulbo de la propia válvula termostática.
  - Un tubo que transmite la presión que tenemos al final del compresor.
- 9.6.** El visor de líquido nos permite:
- Ver si hay aire en el circuito.
  - Ver si todo el refrigerante está en estado vapor.
  - Ver si tenemos humedad en el circuito.
  - Ver si tenemos refrigerante en estado de mezcla líquido-vapor.
- 9.7.** El filtro deshidratador retiene:
- La humedad.
  - La suciedad.
  - Tanto la humedad como la suciedad.
  - El aire que entra en el circuito.
- 9.8.** Señala la afirmación correcta:
- Los presostatos actúan siempre cerrando el expansor.
  - Los presostatos de alta se montan en la zona de evaporación del refrigerante.
  - Los presostatos con diferencial ajustable nos permiten regular la diferencia de presión entre el punto de corte y el de rearme.
  - Los presostatos de baja presión se conectan en la descarga del compresor.
- 9.9.** El separador de aceite se coloca:
- Antes del compresor.
  - Después del compresor.
  - Después del condensador.
  - Después del evaporador.
- 9.10.** Si tenemos un intercambiador de calor en la instalación y una válvula termostática, el bulbo se colocará:
- Antes del intercambiador.
  - Después del intercambiador.
  - Sobre el intercambiador.
  - No puede utilizarse una válvula termostática cuando hay intercambiador de calor en el circuito.

## ■ Actividades de aplicación

- 9.11.** Explica cuándo se utilizan válvulas termostáticas con igualador interno y cuándo con igualador externo y di por qué.
- 9.12.** Indica qué presiones actúan sobre la membrana si tenemos una válvula de expansión termostática con igualador interno y cómo tienen que ser las presiones para que se abra o se cierre la válvula.
- 9.13.** En caso de querer aumentar el recalentamiento, razona si deberíamos abrir o cerrar el tornillo de regulación de una válvula termostática y justifícalo refiriéndote a las presiones que actúan sobre la membrana y a sus consecuencias.
- 9.14.** Nombra aplicaciones para los siguientes tipos de expansores:
- Tubo capilar.
  - Válvula termostática con igualador externo.
  - Válvula MOP.
  - Válvula manual.
- 9.15.** Describe la función de los siguientes elementos en el circuito frigorífico:
- El filtro deshidratador.
  - El recipiente de líquido.
  - El separador de aceite.
  - El visor de líquido.
- 9.16.** Enumera los tipos de carga de bulbo que puede tener una válvula de expansión.
- 9.17.** Si encontramos un evaporador cuya superficie está escarchada:
- Averigua a qué puede ser debido.
  - Determina qué podría hacerse para corregirlo.
- 9.18.** Describe los distintos tipos de dispositivos de expansión que existen.
- 9.19.** En una instalación frigorífica que cuenta con separador de aceite:
- Define para qué se utiliza este elemento.
  - Cita qué averías pueden producirse si no se instala.
- 9.20.** Argumenta por qué es importante el grado de recalentamiento cuando se utilizan válvulas de expansión termostáticas.
- 9.21.** Explica los distintos tipos de presostatos que pueden utilizarse en una instalación frigorífica.

## ■ Actividades de ampliación

- 9.22.** Una de las tareas que realiza un técnico de instalaciones frigoríficas es el mantenimiento de las máquinas que tiene a su cargo. En caso de tener que cambiar una válvula de expansión, existen distintos fabricantes en cuyos catálogos puede buscarse la más adecuada. Puedes consultar el catálogo en la página web del siguiente fabricante <http://www.danfoss.com> y realizar un estudio sobre el dispositivo de expansión que colocarías en los casos que se enumeran a continuación, además de buscar el modelo concreto de válvula que utilizarías en el catálogo:
- Una nevera doméstica.
  - Una cámara frigorífica para productos congelados.
  - Un equipo de aire acondicionado.
- 9.23.** Cuando se realiza una instalación frigorífica, por ejemplo, en un almacén para alimentos frescos o congelados, tienen que elegirse los distintos elementos y/o componentes que van en la instalación. Para ello, se hace un estudio y, con los resultados, se eligen los elementos de la instalación. Busca en distintos catálogos de internet y realiza un presupuesto aproximado del coste de la instalación.
- 9.24.** Carly es un fabricante de los distintos componentes de una instalación frigorífica y, en su página web, podrás encontrar los distintos tipos de filtros que comercializan. Haz una tabla resumen de todos ellos indicando sus principales características y aplicaciones.



# Componentes principales de una instalación de calefacción



Desde la Antigüedad, el hombre ha buscado distintos métodos que le permitiesen emplear varias formas de energía para calentarse. En un principio, se empleó el fuego como medio para obtener calor. Hoy en día, lo más similar a esas antiguas hogueras son las estufas o los braseros.

En la actualidad, el método para obtener calor es de forma indirecta, es decir, se utiliza un fluido caloportador que transporta el calor hasta los lugares que deseamos acondicionar mediante el intercambio de calor entre este fluido y el aire. De esta forma, el fluido que transporta el calor puede ser un líquido, un vapor o un gas.

Los sistemas más ampliamente utilizados, ya sea en instalaciones individuales o colectivas, son los que emplean el agua caliente para transportar el calor desde su lugar de generación hasta su lugar de emisión.

# 10

## Contenidos

- 10.1. Tipos de instalaciones de calefacción
- 10.2. Caldera
- 10.3. Emisores
- 10.4. Cálculo de la carga térmica de calefacción
- 10.5. Dimensionado de los emisores
- Resumen
- Actividades finales

## Objetivos

- Conocer la importancia de la elección del tipo de instalación de calefacción.
- Aprender a clasificar las calderas.
- Distinguir los diferentes tipos de emisores.
- Conocer el procedimiento de cálculo de las cargas térmicas de calefacción.
- Dimensionar un radiador.

## 10.1. Tipos de instalaciones de calefacción

El objetivo de las instalaciones de calefacción es aumentar la temperatura de un recinto calentando el aire, pero ¿de dónde absorbe ese calor el aire? La respuesta podemos verla en los radiadores de nuestro hogares, lo que ocurre en ellos es un intercambio de calor entre el agua caliente que circula por ellos y el aire que los rodea. Los radiadores serán los emisores de la instalación. Pero ¿cómo conseguimos que el agua caliente llegue a los radiadores? Sencillamente, llega a través de un circuito de tuberías que son la red de distribución. Finalmente, cabe preguntarse ¿de dónde obtenemos la energía para calentar el agua? La obtenemos de algún tipo de combustible que, mediante su quema, genera calor que se transmite al agua, esto ocurre en las calderas, que es el elemento generador de la instalación. Esta energía también puede obtenerse de una forma limpia utilizando la energía solar térmica, en ese caso, el generador es un captador solar. Por tanto, podemos dividir la instalación en tres etapas: la generación, la distribución y la emisión.

Existen diferentes tipos de instalaciones de calefacción dependiendo del uso que vaya a dárseles. Podemos clasificarlas en función:

### 1. Del número de usuarios.

Existen tres tipos de instalaciones:

- **Individual.** Dan suministro a un único usuario. Se trata de una instalación de calefacción y/o ACS individual para cada vivienda o para cada local.

En estos casos, suele emplearse como fluido de la instalación el agua caliente y el generador de calor suele ser una caldera individual de gas.

- **Colectivas.** Dan suministro a varios usuarios. Suelen instalarse en edificios con varias viviendas, de tal forma que tenemos un único punto de generación, que suele estar ubicado en la sala de calderas, y varios emisores en cada vivienda. Como fluido, suele emplearse agua caliente o vapor de agua.
  - **Centralizada.** Dan suministro a varios usuarios ubicados en distintas zonas o en distintos edificios. Consta de una central térmica con varios generadores que calientan un fluido primario y que, mediante un intercambiador, transmiten el calor a otro fluido secundario (normalmente agua caliente) que será el que llegue hasta los emisores.
2. **Del fluido caloportador.** Permite el intercambio de calor entre el fluido y el aire del local a calefactar:
- **Por agua caliente.** Se emplea agua como fluido caloportador. Es el método más empleado en instalaciones de calefacción y ACS. El agua se calienta en una caldera y se distribuye hasta los emisores, normalmente radiadores, disipando su calor al aire, después, ya fría, retorna de nuevo a la caldera.
  - **Por vapor de agua.** Se emplea el vapor de agua como fluido caloportador. Para ello, se calienta el agua en una caldera hasta producirse el cambio de estado; después, ese vapor se distribuye hasta los puntos en los que se encuentran los emisores donde cede el calor en forma de calor latente (alta entalpía = disipa mucho calor) y retorna de nuevo

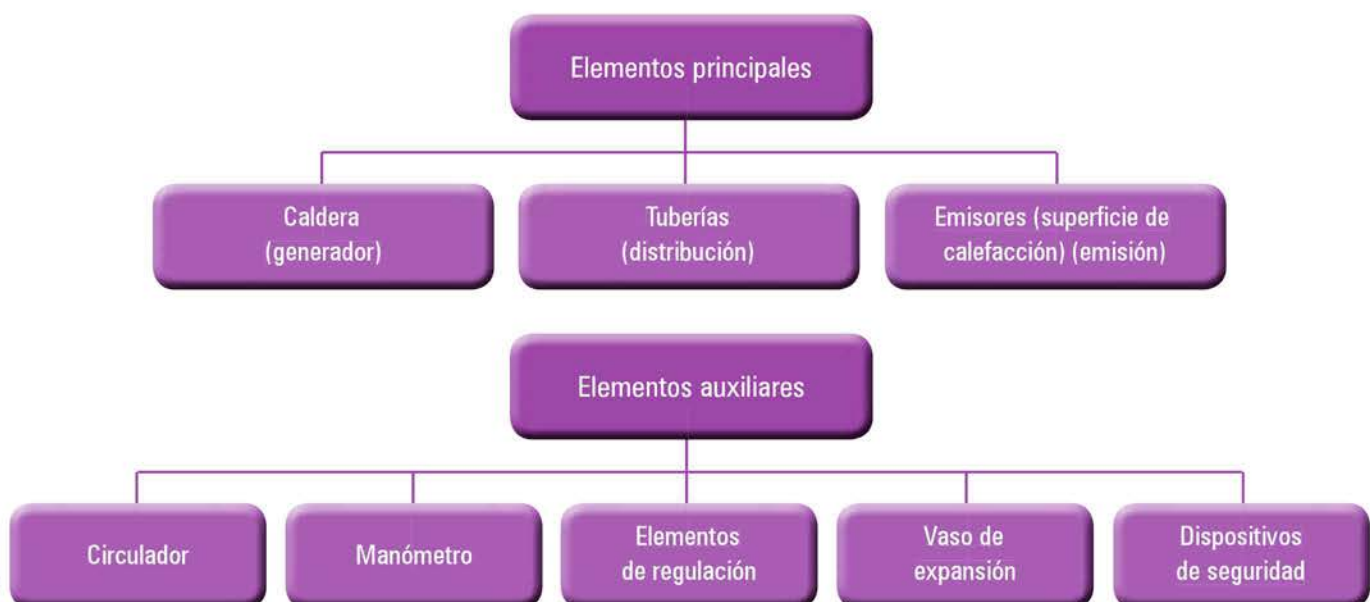


Figura 10.1. Componentes de una instalación de calefacción

a la caldera en estado líquido. Este tipo de instalación suele emplearse en grandes instalaciones o en industrias. En estas últimas, la producción de vapor puede ser una consecuencia residual de su actividad y, además, puede ser empleado para calentar las instalaciones.

- **Por aire caliente.** Se emplea como fluido calorportador el aire, que es impulsado por un ventilador. Suele emplearse en locales amplios, como talleres o naves, de tal forma que consigue calentarse rápidamente el local a un coste bajo. Normalmente, se hace necesaria la utilización de conductos, por lo que, en caso de instalarlo en un edificio de viviendas, su coste sería elevado. Como inconveniente, hay que destacar que el aire caliente se coloca en la parte superior del local y el frío en la inferior, por lo que no hay un buen reparto del calor.

### RECUERDA

Cuando el fluido caloportador es aire caliente y, además de la temperatura, queremos controlar la humedad, entramos en el campo de la climatización y esta se realiza mediante UTA.

A continuación, nos centraremos en el estudio de las instalaciones de calefacción por agua caliente y analizaremos los distintos componentes de la instalación. Podemos clasificar los elementos comunes a la mayoría de las instalaciones diferenciando elementos principales y auxiliares.

## 10.2. Caldera

Es la fuente de calor de la instalación, donde, mediante una resistencia eléctrica o la quema de combustible, se genera energía calorífica que se transmite al fluido caloportador. Esta transferencia de calor se produce por conducción, convección y radiación. Pero **¿cómo podemos elegir el tipo de caldera que debemos utilizar?** La respuesta la tendremos conociendo el tipo de instalación, la ubicación o el coste. Por ejemplo, no podremos instalar una caldera mural de gas en un lugar al que no llegue el suministro de gas. Antes de ver los tipos de calderas o de generadores de calor que existen, vamos a ver las partes fundamentales.

### RECUERDA

Las calderas utilizan combustibles para generar calor. Estos combustibles pueden ser:

- **Sólidos:** leña, *pellet*, carbón, biomasa.
- **Líquidos:** gasóleo.
- **Gaseosos:** gas natural o GLP, por ejemplo, butano y propano.

### 10.2.1. Partes de una caldera

La mayoría de las calderas están formadas por los siguientes componentes:

1. **Quemador.** Es el encargado de llevar a cabo la combustión del combustible líquido, sólido o gaseoso. Existen distintos tipos según el combustible utilizado. También pueden clasificarse según la potencia térmica del quemador:
  - **Quemadores todo-nada.** Tienen una única llama. No permiten regulación de potencia.
  - **Quemadores todo-poco-nada.** Tienen dos llamas. Permiten dos posiciones de regulación de potencia.
  - **Quemadores modulantes.** Permiten regular su potencia desde un valor mínimo hasta el máximo de su potencia nominal.
2. **Hogar o cámara de combustión.** Es el lugar donde se quema el combustible. En él, tenemos transferencia de calor por radiación a través de la llama generada y por convección ya que los humos adquieren elevadas temperaturas que se transmiten a través de las paredes de la cámara de combustión. Dependiendo de la presión que se tenga en el hogar, existen:
  - **Hogar en depresión.** La presión del hogar está por debajo de la presión atmosférica y es la chimenea la que crea la depresión para enviar los humos al exterior.
  - **Hogar presurizado.** La presión del hogar está por encima de la atmosférica y se hace necesaria la utilización de elementos mecánicos que permitan la impulsión de los humos al exterior; para ello, se emplea un ventilador.
3. **Circuito de humos.** Trayecto en el que los humos son sacados de la cámara de combustión hacia la caja de humos. Durante todo el trayecto, se extrae calor al humo y se transmite al fluido caloportador por convección a través de las paredes del circuito. Mientras más tiempo permanezcan los humos en el circuito, mayor intercambio de calor se consigue, por lo tanto, debe tratarse de que la velocidad sea la más baja posible.
4. **Salida o caja de humos.** Lugar donde llegan los humos para, posteriormente, extraerlos a través de la chimenea.
5. **Circuito de agua.** Zona por la que circula el fluido caloportador (agua) para absorber el calor de la cámara de combustión y del circuito de humos a través de las paredes por radiación, conducción y convección.

6. **Salida y retorno de agua.** Son las conexiones de la instalación con la caldera y por ellas se realizan la ida o la salida del agua caliente hacia los emisores y la vuelta o retorno del agua fría a la caldera después de ceder el calor al local a calefactar.

#### ■ SABÍAS QUE...

En el Reglamento de Instalaciones Térmicas, se especifica el tipo de quemador que debe emplearse en función de la potencia de la instalación.

- **Caldera de acero.** Están fabricadas con chapas y tubos de acero. Normalmente, son pirotubulares, es decir, que el humo de la combustión, al salir del hogar, circula por los tubos del circuito de humos para transmitir el calor al fluido caloportador que se encuentra alrededor de los tubos.

#### ■ SABÍAS QUE...

Las calderas de acero son más baratas que las de hierro fundido, aunque resisten peor las condensaciones sulfurosas y pueden provocar corrosión, por tanto, tienen una vida útil menor.

## ■ ■ 10.2.2. Tipos de calderas

Las calderas pueden clasificarse según:

### 1. El material de fabricación.

- **Caldera de hierro fundido.** Están constituidas por elementos de hierro fundido acoplados entre sí mediante manguitos. A mayor número de elementos, mayor será su potencia. Los elementos forman la cámara de combustión y el circuito de humos. Pueden utilizarse con cualquier combustible, resisten bien a la corrosión y tienen una vida útil larga. Como inconvenientes, hay que destacar su peso y su fragilidad ante cambios bruscos de temperatura.

- **Caldera de aluminio.** Están fabricadas con una aleación de silicio y aluminio. Tienen gran resistencia a la corrosión. Suelen utilizarse en **calderas de condensación**. A través de las chimeneas, se expulsan los residuos de la combustión, que suelen tener un alto contenido en vapor de agua. En las calderas de condensación, este vapor de agua, junto con los restantes gases de combustión, se hace pasar por un serpentín que intercambia calor con el fluido caloportador, de tal forma que el vapor de agua cede su calor latente y se condensa y pasa a estado líquido. Estos condensados serán recogidos y eliminados a través de la red de evacuación, lo que permite la mejora del rendimiento y el ahorro de energía en las calderas de condensación.

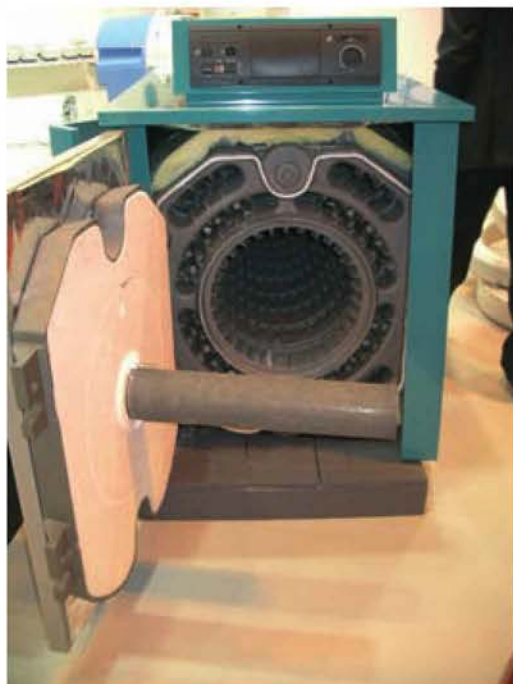


Figura 10.2. Caldera de hierro fundido



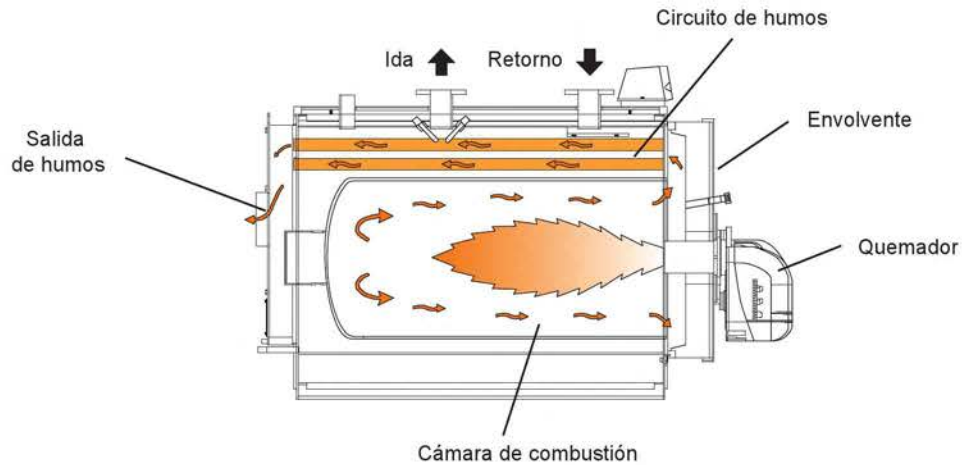


Figura 10.3. Caldera de acero

### 2. El combustible utilizado.

- **Caldera de combustible sólido.** En ellas, se utiliza como combustible leña, carbón o biomasa. En el

caso de la leña y el carbón, el combustible se coloca encima de una parrilla y se puede regular el aire de la combustión mediante compuestas que regulan el tiro. Actualmente, las más empleadas son las calderas de biomasa (de *pellets*) porque cuentan con quemador, sistema de eliminación de residuos y de alimentación de combustible automático.



Figura 10.4. Calderas de pellet

### SABÍAS QUE...

Las calderas que utilizan como combustible el carbón están prohibidas desde el 1 de enero del 2012 de acuerdo con el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) porque los productos de la combustión pueden ser perjudiciales para la salud. Por este motivo, la normativa fomenta la instalación de calderas que reduzcan las emisiones de óxidos de nitrógeno y otros contaminantes para que permita una mejora en la calidad del aire.

- **Caldera de combustible líquido (gasóleo).** Emplean un quemador de gasóleo. Suelen ser **calderas de pie**, es decir, que se colocan directamente sobre el suelo. Las hay solo para calefacción o mixtas (calefacción y ACS).
  - **Caldera de combustible gaseoso.** Utilizan como combustible gas natural o GLP (Gas Licuado del Petróleo). Pueden ser calderas de pie o murales. Las que suelen instalarse fijadas a la pared en las viviendas individuales son **calderas murales** de gas natural. Algunas de las calderas destinadas a quemar combustibles sólidos pueden adaptarse para quemar combustibles líquidos o gaseosos cambiando el quemador.
  - **Caldera eléctrica.** El fluido caloportador se calienta mediante efecto Joule por medio de resistencias. A pesar de que es limpia y está fácilmente disponible, tiene como grandes inconvenientes el bajo rendimiento y el alto coste de la energía consumida.
- 3. El fluido caloportador empleado.**
- **Caldera de agua caliente.** Son las más ampliamente utilizadas porque son las que se emplean en calefacciones domésticas por radiadores.

Cuando se alcanzan altas temperaturas que pueden ser de hasta 220 °C (actuando sobre la presión

para que, a la temperatura de 220 °C, no se llegue a la temperatura de ebullición), se las llama **calderas de agua sobrecalentada** y tienen su aplicación para el calentamiento de naves.

- **Caldera de vapor.** Se utiliza agua, pero, durante su calentamiento, se evapora cediendo el calor en los emisores en forma de calor latente. El fluido retorna a la caldera en estado líquido.
- **Caldera de aire caliente.** El aire se calienta en la caldera. Sus aplicaciones son limitadas, por ejemplo, en pequeñas naves.

### Actividad propuesta

- 10.1.** Copia y completa la tabla indicando al menos dos ventajas y dos inconvenientes de cada tipo de caldera:

Tipo de caldera	Ventajas	Inconvenientes
Hierro fundido		
Acero		
Aluminio		



Figura 10.5. Caldera mural de gas



Figura 10.6. Caldera de gasóleo (cortesía de Ferrol)

### Actividad propuesta

10.2. Indica posibles aplicaciones para los siguientes tipos de caldera:

- Caldera de agua caliente.
- Caldera de agua sobrecalentada.
- Caldera de vapor.
- Caldera de aire.

## 10.3. Emisores

El calor que se transmite al fluido caloportador en la caldera debe llegar a los locales que se desea calefactar y, para ello, es necesario contar con unos elementos que se encarguen de disipar ese calor: los **emisores o superficies de calefacción**.

En los emisores, el calor se transmite al aire del local por convección y radiación.

Existen distintos tipos de emisores (Figura 10.7.).

### 10.3.1. Radiadores

Son el tipo de emisores caloríficos más empleados ya que se utilizan en las instalaciones de calefacción por agua caliente. El calor del agua se cede a través de la superficie del radiador al aire del local creando unas corrientes de aire por convección, de tal forma que el aire caliente sube y el frío baja y se consigue un reparto uniforme del calor en el local.

Dentro de los radiadores, existen distintos tipos:

- **De hierro fundido.** Está constituido por elementos de hierro que pueden unirse mediante manguitos para

aumentar la superficie de emisión. Es el tipo de radiador más clásico y sus principales características son: elevado peso (un inconveniente a la hora de instalarlo), gran duración ya que resiste bien a la corrosión, gran inercia térmica (tardan mucho tiempo en calentarse y en enfriarse) y buena capacidad de emisión.



Figura 10.8. Radiador de hierro fundido

- **De acero.** Están fabricados en chapa de acero estampada en bloques de varios elementos, lo cual es un inconveniente porque no pueden dividirse, aunque sí pueden acoplarse varios bloques. Respecto a los radiadores de hierro fundido, estos son más ligeros, pero, debido a su menor resistencia a la corrosión, tienen menos durabilidad, además de menor inercia térmica y menor capacidad de emisión.
- **Paneles de acero.** Están constituidos por dos chapas planas de acero soldadas eléctricamente entre sí. Tienen

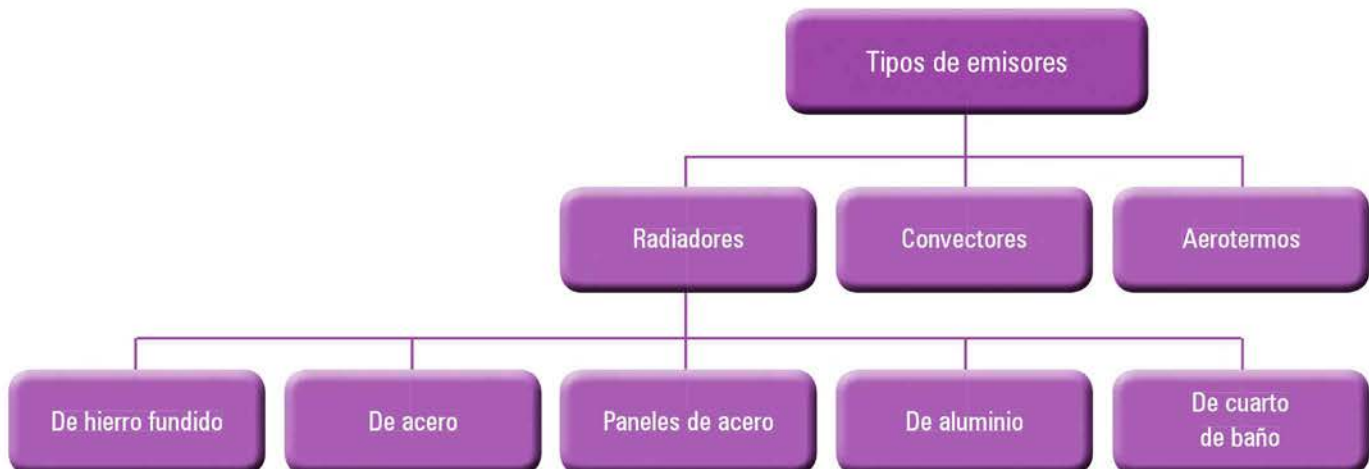


Figura 10.7. Esquema clasificatorio de los emisores de calor

características similares a los de acero, con la única salvedad de que hace falta mayor superficie para tener la misma potencia calorífica, por ello se ha tomado como solución unirles otro panel, lo que ha dado lugar a los llamados *paneles convectores* (PC) o *paneles convectores dobles* (PCCP).



Figura 10.9. Radiador panel de acero

- **De aluminio.** Están formados por elementos de aluminio inyectado que pueden unirse mediante manguitos. Es el tipo de radiador más ampliamente utilizado por sus características: ligero, larga duración, inercia



Figura 10.10. Radiadores de aluminio

térmica baja, elevada capacidad de emisión y su elegante diseño. Como inconveniente, hay que decir que el aluminio, al estar en contacto con el agua, reacciona creando hidrógeno, que será eliminado mediante unos purgadores automáticos que están instalados en cada radiador.

- **De cuarto de baño.** También son denominados *toalleros* debido a su doble función de secar o de calentar las toallas, además de calentar los cuartos de baño. Están fabricados con tubos de acero o de aluminio.



Figura 10.11. Radiador de cuarto de baño

### Actividad propuesta

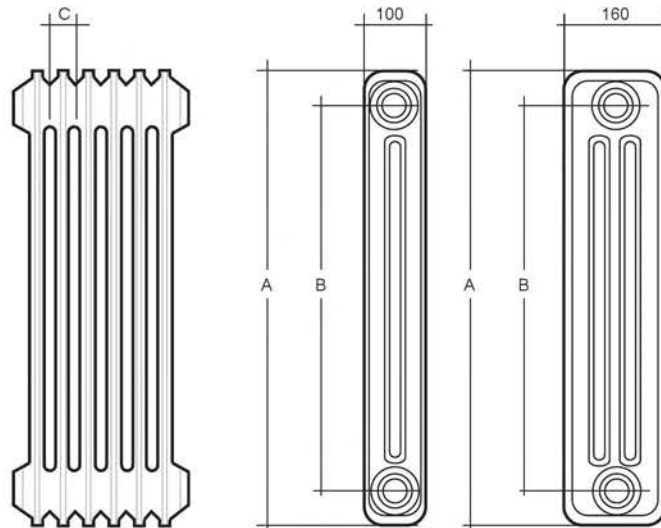
10.3. Completa la siguiente tabla indicando al menos dos ventajas y dos inconvenientes de cada tipo de radiador:

Tipo de radiador	Ventajas	Inconvenientes
Hierro fundido		
Acero		
Panales de acero		
Aluminio		

Los radiadores se denominan por su material y la superficie total de radiación y se definen por su potencia térmica, su altura, su longitud y su número de elementos o su número de columnas en caso de que, en lugar de por elementos, vengan en bloque, como es el caso de los radiadores de acero.

**Tabla 10.1.** Características y dimensiones de un radiador

	Modelos	Cotas en mm			Capacidad agua (l)	Peso aprox. (kg)	Por elemento en kcal/h		Exponente $n$ de la curva característica
		A	B	C			Para $\Delta T^a = 60^\circ\text{C}$	Para $\Delta T^a = 50^\circ\text{C}$	
2 columnas	45-2	450	350	50	0,75	0,90	50,0	34,6	1,28
	60-2	600	500	50	0,88	1,28	67,7	45,4	1,28
	75-2	750	650	50	1,02	1,60	82,8	56,0	1,29
3 columnas	32-3	317	217	50	0,85	0,95	53,0	36,9	1,27
	45-3	450	350	50	1,04	1,50	73,3	49,1	1,28
	60-3	600	500	50	1,26	2,00	93,4	63,6	1,30
	75-3	750	650	50	1,47	2,50	117,0	78,6	1,31
	90-3	900	800	50	1,69	2,90	135,3	94,5	1,33



### ■ ■ ■ Instalación hidráulica de radiadores

Desde el punto de vista hidráulico, los radiadores pueden instalarse de dos formas en función de por dónde tenga lugar la entrada o la impulsión del agua y la salida o retorno del mismo. De tal modo que existen dos tipos de instalaciones:

- **Instalación monotubo.** Los radiadores se colocan en serie de forma que el agua que pasa por un radiador después pasara por el siguiente, de esta forma, aunque el gasto de tubería es menor, el agua se va enfriando a medida que va pasando por los radiadores. Los últimos radiadores del anillo tendrán que estar sobredimensionados para alcanzar la potencia deseada ya que la temperatura a la que llega el agua es menor que la temperatura de la que llega a los primeros.



**Figura 10.12.** Llave monotubo

En una instalación monotubo, existe una llave específica, la *llave monotubo*, por la que se produce la entrada de agua y después la salida hacia otro radiador o, en caso de ser el último, hacia la caldera.

- **Instalación bitubo.** Es el sistema más instalado en la calefacción doméstica. Cada radiador tiene dos tomas a las que se conectan las tuberías. Una tubería será la de impulsión, que llega de la caldera, y la otra, la de retorno, en la que el agua regresa a la caldera a una temperatura más baja. La entrada de agua caliente se realiza por la parte superior del radiador y la salida, por la parte inferior. Ambos pueden conectarse al mismo lado o en lados opuestos, aunque es preferible en lados opuestos ya que se consiguen mejores rendimientos.

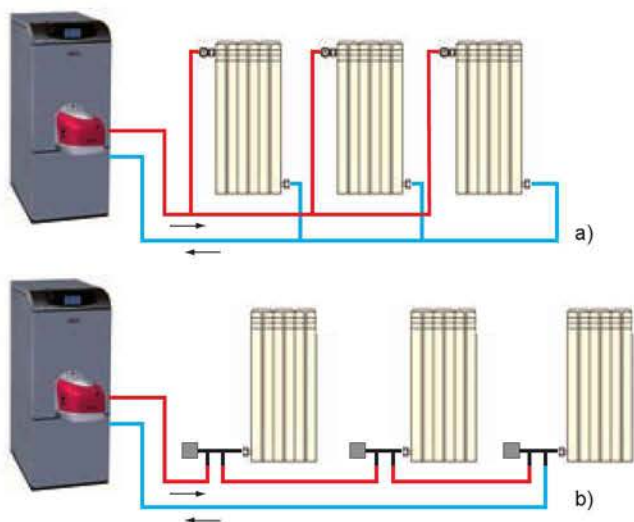


Figura 10.13. Esquema de una instalación bitubo (a) y otra monotubo (b)

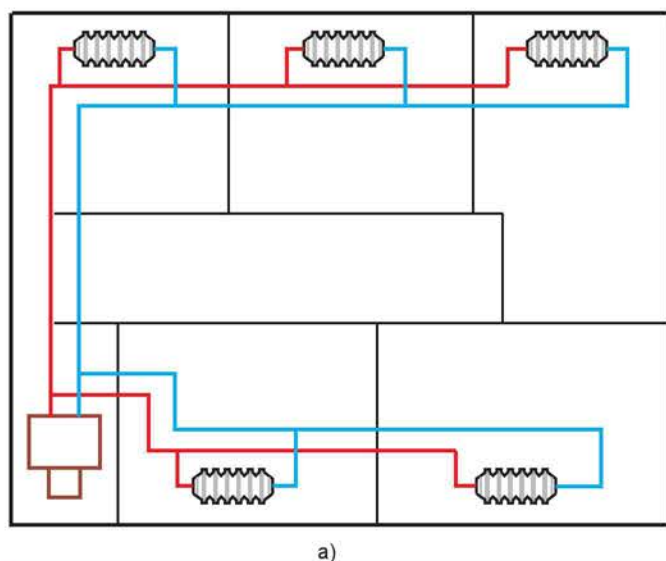


Figura 10.14. Esquema de una instalación bitubo (a) y otra monotubo (b)

Cabe preguntarse **¿qué ocurrirá con la temperatura y la presión a la que llega el agua a los últimos radiadores de la instalación?** La respuesta es sencilla: puesto que el agua tiene que recorrer un camino más largo, tendremos más pérdidas de calor y, por tanto, la temperatura disminuye y, puesto que el diámetro de tubería disminuye a medida que nos alejamos, también tendremos mayores pérdidas. Para solucionar estos problemas, la instalación se coloca con retorno invertido, pero **¿qué es el retorno invertido?** Consiste en que el recorrido desde la caldera a cada radiador tenga la misma longitud para que igualem los caudales y las temperaturas de cada emisor.

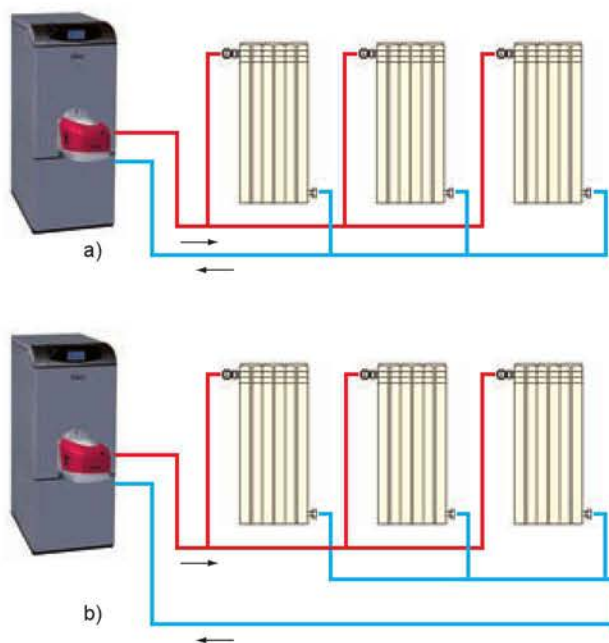


Figura 10.15. Esquema de una instalación sin retorno invertido (a) y otra con retorno invertido (b)

### ■ ■ ■ Elementos comunes de un radiador

Cualquier tipo de radiador tiene una serie de elementos comunes, que son los siguientes:

- **Llave de regulación o reglaje.** Se sitúa a la entrada del radiador y su función es regular la cantidad de agua que queremos que pase al radiador. Permite regular el caudal y, por tanto, la potencia del radiador. Existen llaves termostáticas que se regulan para permitir variar el caudal en función de la temperatura ambiente.



Figura 10.16. Llave de regulación o reglaje (cortesía de Danfoss)

- **Detentor.** Se sitúa a la salida del radiador y su función es, junto a la llave de regulación, separar al radiador del circuito hidráulico, de tal forma que no sea necesario vaciar toda la instalación para extraerlo de la misma. Se emplea en instalaciones bitubulares.



Figura 10.17. Detentor (cortesía de Danfoss)

- **Purgador.** Su función es eliminar el aire que se forma en el radiador. El aire se coloca en la parte superior del radiador ya que, por diferencia de densidad, el agua, al ser más densa, se va a la parte inferior. Estos pueden ser manuales o automáticos.

#### ■ RECUERDA

En el caso de los radiadores de aluminio, es necesario colocar purgadores automáticos activados mediante un sistema de flotación o por discos ya que, en ellos, tiende a formarse hidrógeno al reaccionar el aluminio con el agua.



Figura 10.18. Purgadores manuales de radiador

### ■ ■ ■ 10.3.2. Convectores

Son emisores que cuentan con una batería de tubos de cobre o aluminio con aletas por cuyo interior circula agua caliente o sobrecalentada. Funcionan haciendo pasar una corriente de aire a través de la batería de tubos, de tal forma que el aire entra por la parte inferior, pasa entre las aletas y absorbe el calor. Después, el aire sale por la parte superior o frontal y se consigue una convección natural. Cuentan con una llave de mariposa para regular la temperatura mediante la regulación del caudal de aire.

### ■ ■ ■ 10.3.3. Aerotermos

Es similar a un convector, solo que cuenta con un ventilador para facilitar el movimiento de aire, por tanto, puede decirse que funciona por convección forzada. Cuenta con una serie de tubos aleteados o un serpentín por cuyo interior circula agua caliente o vapor.



Figura 10.19. Aerotermo (cortesía de Tecnoclima)

### 10.3.4. Instalaciones con *fan coils*

Los *fan coils* son similares a los aerotermos, pero estos también pueden ser alimentados con agua fría para refrigerar los locales en periodos calurosos.

Este sistema es muy empleado en edificios de oficinas, en hospitales, etc. ya que, además de ser utilizados tanto para calentar como para enfriar, su colocación es apta tanto en suelo como en paredes (murales) o en techos.

### 10.3.5. Instalaciones de suelo radiante

Este sistema de calefacción consiste en la emisión de calor por medio de un sistema de tuberías embebido bajo el pavimento por el que se hace circular el agua caliente, con lo que se consigue una gran superficie emisora de calor. El agua se encuentra a una temperatura menor que en otros sistemas de calefacción, aunque se produce igualmente en la caldera.

La transferencia de calor se produce primero entre el agua que circula por los tubos y el suelo y de ahí al ambiente.

La distribución de los tubos puede ser en serpentín, doble serpentín o en espiral. En la Figura 10.20., podemos observar la configuración en espiral.



Figura 10.20. Instalación de suelo radiante

También es posible utilizar esta instalación para refrigerar en verano.

## 10.4. Cálculo de la carga térmica de calefacción

Cuando quiere calefactarse una vivienda o un local, es necesaria la generación del calor que va a cederse al local. Se llama **carga térmica de calefacción** al conjunto de las pérdidas de calor totales que se tienen en el local a calefactar, de estas cargas, algunas son consideradas como pérdidas y

### RECUERDA

Para calcular la pérdida de calor por transmisión en cerramientos, es necesario conocer la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior, la superficie del muro y los materiales por los que está formado.



otras como ganancias. Su cálculo sirve para determinar la **potencia de los equipos a instalar**.

Para determinar las cargas térmicas, los datos de partida serán los siguientes:

1. **Condiciones exteriores.** Datos de temperatura de la localidad para los cerramientos exteriores y de los locales colindantes para los cerramientos interiores. Para la toma de estos datos, pueden utilizarse las normas UNE o las tablas recogidas en las guías técnicas de ahorro y de eficiencia energética en climatización del IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía).
2. **Condiciones interiores.** Vienen recogidas en el RITE. Nos indican los valores de temperatura y de humedad relativa para verano e invierno. En el caso de la calefacción, tan solo nos interesarían las condiciones de temperatura en invierno, que son: temperatura entre 21 y 23 °C y humedad relativa entre el 40 y el 50 %.
3. **Condiciones del local.** Son aquellos aspectos constructivos y de utilización de los locales. Serán los siguientes:
  - Materiales constructivos.
  - Orientación de las paredes.
  - Ocupación.



**Tabla 10.2.** Temperaturas exteriores para cargas térmicas de calefacción

Ubicación	Temperatura (°C)
A Coruña	4,4
Álava	-4
Albacete	-4,7
Alicante	3,2
Almería	6,5
Asturias	0
Ávila	-6,4
Badajoz	-1
Baleares	0,3
Barcelona	1,3
Burgos	-5,8
Cáceres	0
Cádiz	6,2
Cantabria	3,6
Castellón	3
Ciudad Real	-2,6
Córdoba	0
Cuenca	-4,9
Girona	-3,1
Guipúzcoa	-0,6
Granada	-2
Guadalajara	-10,2
Huesca	2,2
Jaén	0,8
La Rioja	-3,3

Ubicación	Temperatura (°C)
Las Palmas	13,6
León	-5
Lugo	-3,6
Lleida	-4,4
Madrid	-0,8
Málaga	4,4
Melilla	7,4
Murcia	5,7
Navarra	-3,8
Palencia	-4,9
Ourense	-2,6
Pontevedra	2,1
Salamanca	-5,8
S. C. Tenerife	14
Segovia	-5,2
Sevilla	3,1
Soria	-6,4
Tarragona	1
Teruel	-8,1
Toledo	-2,6
Valencia	4,4
Valladolid	-4,1
Vizcaya	-0,2
Zamora	-4,6
Zaragoza	-6,5

A partir de las anteriores condiciones, puede calcularse la carga térmica. Serán las siguientes:

- A través de los cerramientos.
- Por ventilación y por infiltraciones del aire.
- Suplementarias.

### 10.4.1. Cargas térmicas por transmisión a través de cerramientos

Los cerramientos son las paredes que separan al local o a la vivienda del exterior o de otros locales o viviendas colindantes. Existen distintos tipos de cerramientos:

- **Cerramientos en contacto con el aire exterior:** muros de fachada, suelos y techos.
- **Cerramientos en contacto con el terreno:** muros, suelos o techos que están en contacto con el terreno.
- **Particiones interiores en contacto con espacios no habitables:** muros, particiones interiores, medianerías, suelos o techos en contacto con otros locales o edificios no calefactados.
- **Elementos acristalados:** ventanas, lucernarios o puertas acristaladas.

Todos ellos se calculan con la fórmula siguiente:

$$Q_{\text{cerramiento}} = U \times S \times \Delta T$$

Siendo  $U$  la transmitancia térmica del cerramiento ( $\text{W/m}^2 \times \text{K}$ ),  $S$  la superficie del cerramiento ( $\text{m}^2$ ) y  $\Delta T$  el incremento de temperatura entre el interior y el exterior ( $\text{K}$ ).

### 10.4.2. Cargas térmicas por ventilación y por infiltración

Se considera la cantidad de aire nuevo que entra al local por ventilaciones y por infiltraciones (a través de pequeñas rendijas en puertas o en ventanas) y que debemos tratar. Pueden calcularse por separado o conjuntamente.

La carga térmica por ventilación se calcula:

- **Por caudal de aire.** Se calcula a partir de la fórmula:

$$Q_{\text{ventilación}} = \text{caudal} \times \Delta T \times 0,345$$

Siendo *caudal* el caudal de aire nuevo que entra ( $\text{m}^3$ ) y  $\Delta T$  el incremento de temperaturas interior y exterior:  $\Delta T = T_e - T_i$  ( $\text{g/kg}$ ).

- **Por renovaciones.** Se calcula a partir de la fórmula:

$$Q_{\text{ventilación}} = V \times n \times 0,345$$

Siendo  $V$  el volumen del local o cantidad de aire por renovación ( $\text{m}^3$ ) y  $n$  el número de renovaciones de aire.

En caso de que sea necesario calcular las pérdidas por infiltraciones, se calculan con la fórmula siguiente:

$$Q_{\text{infiltración}} = R \times I \times \Delta T \times 0,345$$

Siendo  $R$  la longitud de las rendijas en la pared ( $\text{m}$ ),  $I$  las infiltraciones de aire por las rendijas ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) y  $\Delta T$  el incremento de temperaturas interior y exterior:  $\Delta T = T_e - T_i$  ( $\text{g/kg}$ ).

#### SABÍAS QUE...

Los fabricantes suministran hojas de cálculo para realizar el cálculo de las cargas térmicas para que los instaladores tengan una forma sencilla y rápida de hacer los cálculos. Puedes encontrar estos programas informáticos en: <http://www.ferroli.es> y <http://www.baxi.es>

### 10.4.3. Cargas térmicas suplementarias

Se trata de un coeficiente de seguridad que debemos aplicar por dos factores:

- **Factor de orientación.** En caso de que la orientación del local sea norte, el coeficiente que se aplicará será el de mayor corrección ya que se suponen unas pérdidas de calor más altas.

- **Factor de intermitencia.** Se aplica en caso de tener apagada la instalación durante periodos de tiempo largos ya que, cuando comience a funcionar, el aporte de calor será mayor para poder llegar a las condiciones de temperatura deseadas.

### 10.4.4. Cargas térmicas totales

El total de cargas será la suma de todas las calculadas hasta ahora considerando las cargas suplementarias:

$$Q_{\text{total}} = (Q_{\text{cerramientos}} + Q_{\text{ventilación}} + Q_{\text{infiltraciones}}) \times (1 + \text{factores})$$

#### Actividad propuesta

- 10.4.** Busca a través de internet las distintas hojas de cálculo que nos proporcionan los fabricantes. Compara el método expuesto en la unidad didáctica con los métodos que proponen los fabricantes para hacer más sencillo el trabajo de los instaladores.

Puedes consultar en la página web de Ferroli o de Baxi-Roca entre otras.

## 10.5. Dimensionado de los emisores

Una vez que conocemos la carga térmica de cada local a calefactar, podemos seleccionar el tipo de radiador indicando el número de elementos que necesitamos. Para ello, tendremos en cuenta un nuevo concepto: el **salto térmico**.

Llamamos salto térmico a la diferencia entre la temperatura media del agua que circula por el radiador y la temperatura ambiente, de tal forma que:

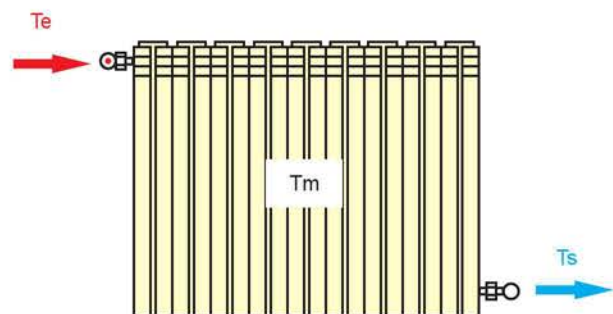


Figura 10.21. Esquema de temperaturas de un radiador

$$T_m = (T_e + T_s)/2$$

$$\Delta T = T_m - T_a$$

Siendo  $T_e$  la temperatura de entrada al radiador ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_s$  la temperatura de salida del radiador ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_m$  la temperatura media del radiador ( $^{\circ}\text{C}$ ) y  $T_a$  la temperatura ambiente ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Los fabricantes nos proporcionan la potencia de los emisores considerando un salto térmico de 50 °C, pero **¿qué ocurriría si la temperatura media del fluido o la temperatura ambiente es distinta?** En estos casos, tendremos que recurrir a la siguiente fórmula:

$$Q = Q_{50} \times (\Delta T/50)^n$$

Siendo  $Q$  la emisión calorífica para el nuevo salto térmico (kcal/h),  $Q_{50}$  la emisión calorífica para un  $\Delta T = 50$  °C (kcal/h),  $\Delta T$  el salto térmico nuevo (°C) y  $n$  el exponente de la curva característica del emisor según los datos facilitados por el fabricante.



Figura 10.22. Válvula termostática de un radiador

### Actividad resuelta

**10.1.** Los fabricantes de radiadores dan la potencia de los mismos considerando que el salto térmico es de 50 °C. Sabiendo que consideran que la temperatura ambiente es de 20 °C y que la de entrada al radiador es de 75 °C. Indica los valores que toman como referencia para:

- La temperatura media del radiador.
- La temperatura de salida del radiador.

#### Solución:

- Temperatura media del radiador:

Puesto que  $\Delta T = T_m - T_a$ , podemos decir que  $T_m = \Delta T + T_a = 50 + 20 = 70$  °C.

- Temperatura de salida del radiador:

Puesto que  $T_m = (T_c + T_s)/2$ , podemos decir que  $T_s = (T_m \times 2) - T_c = (70 \times 2) - 75 = 65$  °C.

### Actividad resuelta

**10.2.** Una vez realizado el cálculo de cargas térmicas de una vivienda, sabemos que, en el dormitorio principal, se necesita una potencia de 1.700 kcal/h, la instalación funciona con un salto térmico de 50 °C y las tablas del fabricante para el tipo de emisor elegido nos dan una potencia por elemento de 115 kcal/h. ¿Cuántos elementos necesitaría el radiador?

#### Solución:

El número de elementos podemos calcularlo de la siguiente forma:

$N.^\circ \text{ elementos} = \text{potencia local}/\text{potencia de elemento}$

$N.^\circ \text{ elementos} = 1.700/115 = 17,78$  elementos

En caso de obtener un número elevado de elementos, en torno a los veinte elementos, se aconseja dividirlos en varios emisores.

### Actividad propuesta

**10.5.** Para la instalación de la siguiente vivienda, se tiene un salto térmico de 50 °C. Se han seleccionado unos emisores con una potencia calorífica por elemento de 120,5 kcal/h. Completa en la siguiente tabla el número de elementos que sería necesario colocar en cada estancia de la vivienda.

Estancia	Superficie (m <sup>2</sup> )	Potencia (kcal/h)	N.º de elementos
Dormitorio	12	1.600	
Dormitorio 2	15	1.800	
Salón	30	2.200	
Cocina	12	1.300	
Baño	6	600	

### Actividad propuesta

**10.6.** Para el ejemplo anterior, selecciona el modelo de radiador que proporciona el fabricante si instalamos radiadores de los siguientes materiales:

- Hierro fundido.
- Acero.
- Aluminio.

Para ello, consulta catálogos de fabricantes, por ejemplo, Ferroli o Baxi-Roca entre otros.

## Actividad resuelta

**10.3.** En una habitación que se encuentra a 20 °C, sabemos que la temperatura del agua de impulsión al radiador es de 80 °C y la de retorno es de 65 °C. ¿Cuál será la potencia calorífica del emisor? El emisor elegido tiene una emisión calorífica para un incremento de temperatura de 50 °C de 120 kcal/h y el exponente de la curva característica del emisor es de 1,504.

**Solución:**

En primer lugar, comprobaremos si el salto térmico es de 50 °C. Para ello, aplicamos  $T_m = (T_c + T_s)/2$ , de tal forma que  $T_m = (80 + 65)/2 = 72,5$  °C.

Puesto que  $\Delta T = T_m - T_a$ , podemos decir que  $\Delta T = T_m - T_a = 72,5 - 20 = 52,5$  °C.

Como el salto térmico es distinto de 50 °C:

$$Q = Q_{50} \times (\Delta T/50)^n = 120 \times (52,5/50)^{1,504} = 129,14 \text{ kcal/h}$$

Como puede observarse, cuando aumentamos el salto térmico, se disipa mayor cantidad de calor al ambiente. Aunque, en principio, pueda parecer una ventaja, en realidad, esto provoca mayores pérdidas de calor si no están correctamente reguladas estas temperaturas.

## Actividad propuesta

**10.7.** Un instalador debe seleccionar un radiador a partir de la tabla 10.1. Para ello cuenta con la siguiente información:

Temperatura deseada del local: 21 °C

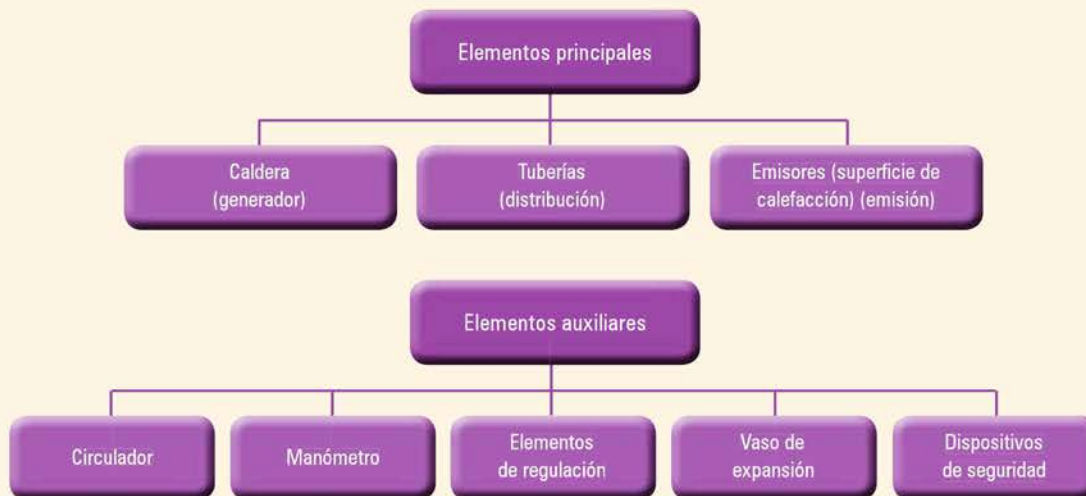
Temperatura de agua de impulsión del radiador: 70 °C

Temperatura de agua de retorno del radiador: 60 °C

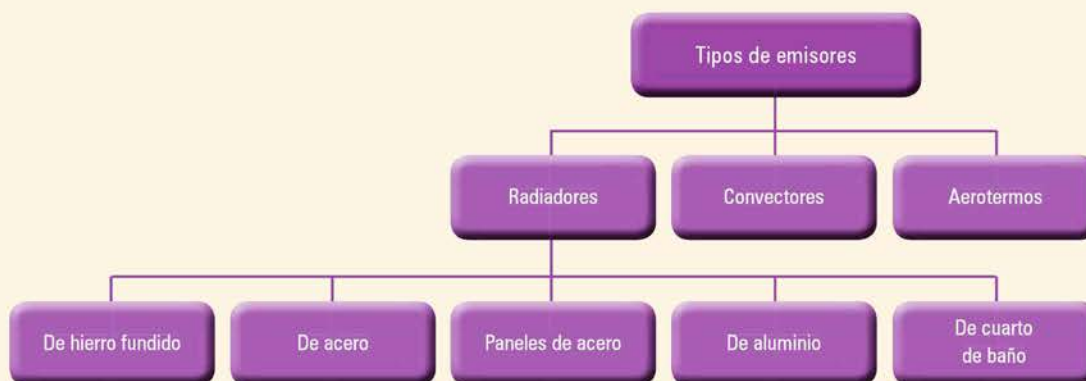
Carga térmica del local: 65 Kcal/h

- Selecciona un modelo de radiador de los que aparecen en la tabla, adecuado para el local.
- Averigua la potencia calorífica del emisor.

- La instalación de calefacción puede dividirse en tres etapas: la generación, la distribución y la emisión.
- Los tipos de instalaciones de calefacción pueden clasificarse en función del número de usuarios —individuales, colectivas o centralizadas— y en función del fluido caloportador —por agua caliente, por vapor de agua o por aire caliente.
- La clasificaciones de los elementos comunes a la mayoría de las instalaciones de calefacción es:



- La caldera es la fuente de calor de la instalación, donde, mediante una resistencia eléctrica o la quema de combustible, se genera energía calorífica que se transmite al fluido caloportador. Las partes de una caldera son el quemador, la cámara de combustión, el circuito de humos, la caja de humos, el circuito de agua y sus conexiones de entrada y de salida.
- Los tipos de calderas que existen pueden clasificarse en función de su material —caldera de hierro fundido, caldera de acero, caldera de aluminio—, en función del combustible utilizado —caldera de combustible sólido (de biomasa), caldera de combustible líquido (gasóleo), caldera de combustible gaseoso (gas natural) y caldera eléctrica—, dependiendo de su ubicación —calderas de pie o murales— y, por último, en función del fluido caloportador empleado de agua caliente —de vapor y de aire caliente.
- Los emisores son los elementos encargados de disipar el calor al ambiente del espacio a calefactar. Los distintos tipos de emisores que existen son:



- Existen dos tipos de instalaciones en función de la conexión de los radiadores. La instalación monotubo, en la que los radiadores se colocan en serie para que el agua que pasa por un radiador, después, pase por el siguiente. La instalación bitubo, cada radiador tiene dos tomas: una conectada a la impulsión y la otra, al retorno de la caldera.
- Una instalación con retorno invertido es una instalación bitubo en la que el recorrido desde la caldera a cada radiador tiene la misma longitud para igualar los caudales y las temperaturas de cada emisor.
- Para realizar el cálculo de la carga térmica de calefacción, tendremos en cuenta las condiciones interiores, exteriores y las del local.

## ■ Actividades de comprobación

- 10.1.** Los quemadores todo-nada:
- No permiten regular la potencia.
  - Permiten dos posiciones de regulación de potencia.
  - Permiten tres posiciones de regulación de potencia.
  - Permiten regular la potencia desde un valor mínimo hasta el máximo de su potencia nominal.
- 10.2.** El fluido caloportador empleado en locales amplios, como talleres o naves, es:
- Agua caliente.
  - Agua sobrecalentada.
  - Vapor de agua.
  - Aire caliente.
- 10.3.** Una instalación de calefacción colectiva es aquella que:
- Da suministro a un único usuario.
  - Da suministro a varios usuarios del mismo edificio.
  - Da suministro a varios usuarios ubicados en distintas zonas o edificios.
  - Ninguna respuesta es correcta.
- 10.4.** Señala la afirmación correcta:
- El hogar es la zona por donde circula el agua absorbiendo calor.
  - El circuito de humos de una caldera es el lugar donde se quema el combustible.
  - Un hogar o cámara de combustión presurizada es aquel en el que la presión está por debajo de la atmosférica y es la chimenea la que crea esta situación.
  - El quemador es el encargado de llevar a cabo la combustión del combustible líquido.
- 10.5.** Las calderas de acero:
- Son más caras que las de hierro fundido.
  - Están fabricadas con chapas de acero y tubos de hierro fundido.
  - Resisten peor a la corrosión que las de hierro fundido.
  - Tiene una duración mayor que la de hierro fundido.
- 10.6.** En las calderas de condensación:
- El vapor de agua, junto con los gases de la combustión, se hace pasar por un serpentín que intercambia calor con el fluido caloportador.
  - El agua en estado líquido cede su calor sensible al fluido caloportador.
  - Los gases de combustión absorben el calor del fluido caloportador.
  - Los gases de combustión se condensan antes de salir al exterior.
- 10.7.** Señala la respuesta correcta:
- Los emisores de hierro fundido son ligeros y fáciles de instalar.
  - Los emisores de acero tienen una mayor duración que los de hierro fundido debido a su elevada resistencia a la corrosión.
  - Los paneles de acero son similares a los emisores de acero con la única diferencia de que hace falta mayor superficie para obtener la misma potencia.
  - Los emisores de aluminio tienen un elevado peso y una inercia térmica alta.
- 10.8.** Señala la respuesta incorrecta:
- Los emisores de hierro fundido están constituidos por elementos de hierro que se unen mediante manguitos.
  - Los emisores de panel de acero están fabricados en chapa de acero estampada en bloques de varios elementos.
  - Los emisores de aluminio están formados por elementos de aluminio inyectado que pueden unirse mediante manguitos.
  - Los emisores de cuarto de baño están fabricados con tubos de acero o de aluminio.
- 10.9.** El retorno invertido se coloca en instalaciones:
- Monotubo.
  - Bitubo.
  - Monotubo o bitubo indiferentemente.
  - En instalaciones monotubo con un largo recorrido hasta la caldera.
- 10.10.** Para realizar el cálculo de carga térmica de un local, deben tenerse en cuenta:
- Las condiciones interiores y exteriores.
  - Las condiciones exteriores y de materiales del local.
  - Las condiciones interiores, exteriores y del local.
  - Ninguna es correcta.

## Actividades de aplicación

- 10.11.** Enumera las tres fuentes de calor empleadas en instalaciones de calefacción e indica sus principales características.
- 10.12.** Define qué es una caldera.
- 10.13.** Describe las distintas partes de una caldera.
- 10.14.** Señala qué calderas utilizarías en los siguientes casos:
- Instalación individual de una vivienda.
  - Instalación colectiva de un edificio.
  - Instalación individual de una casa en el campo.
  - Instalación de una nave industrial.
- 10.15.** Una empresa va a realizar una reforma en un edificio de viviendas. Los propietarios quieren que los informes sobre las diferencias de instalación entre un sistema individual o colectivo. Responde a las siguientes cuestiones para cada caso:
- ¿Instalarás una caldera tipo mural o de pie?
  - ¿Qué combustible utilizarás para la caldera?
- 10.16.** Haz una exposición sobre los distintos tipos de calderas que hay y sus métodos de clasificación.
- 10.17.** Un instalador está colocando el circuito de calefacción en una vivienda y debe seleccionar el generador, la distribución y los emisores:
- Comenta los emisores que podrían colocarse en la instalación.
  - Indica los criterios de selección del tipo de emisor.
- 10.18.** Explica cómo funciona un sistema con retorno invertido.
- 10.19.** Un radiador tiene un salto térmico de 50 °C, la temperatura ambiente del local es de 21 °C y la temperatura de entrada al radiador es de 80 °C. Indica los valores a tomar como referencia para:
- La temperatura media del radiador.
  - La temperatura de salida del radiador.
- 10.20.** Describe las ventajas y los inconvenientes de una instalación bitubo y de otra monotubo.
- 10.21.** Enumera los pasos a seguir para calcular la carga térmica de la calefacción de una vivienda.

## Actividades de ampliación

- 10.22.** Un cliente que vive en un dúplex quiere cambiar la instalación de calefacción y ha decidido montar radiadores de aluminio. Las potencias que deben tener en cada espacio de la vivienda son las siguientes:
- Dormitorio 1: 1.400 kcal/h.
  - Dormitorio 2: 1.200 kcal/h.
  - Salón: 1.800 kcal/h.
  - Cocina: 1.000 kcal/h.
  - Baño: 500 kcal/h.
- Existen distintos fabricantes de radiadores que ponen a disposición del instalador a través de internet catálogos de las características técnicas, como son <http://www.baxi.es> y <http://www.ferroli.es>. Realiza un listado de los radiadores seleccionados para cada estancia y de los elementos necesarios para montarlos.

	Modelo de radiador	Detentor	Llave de reglaje	Purgador	Otros elementos: tapones, reducciones, etc.
Dormitorio 1					
Dormitorio 2					
Salón					
Cocina					
Baño					

**10.23.** Existen distintos tipos de calderas dependiendo de la aplicación que queramos. Los fabricantes nos dan sus características, que podemos encontrar en las páginas web siguientes: <http://www.baxi.es>, <http://www.ferroli.es>, <http://www.valliant.es> y <http://www.saunierduval.es>. Haz un estudio para un cliente que va a instalar una nueva caldera en una casa de campo y realiza un informe indicando entre qué tipos de calderas puede elegir.

**10.24.** La cantidad de calor desprendido al quemar una unidad de masa de un combustible es lo que se llama *poder calorífico*. A continuación, te presentamos algunos de los poderes caloríficos de los combustibles más empleados.

	Densidad	PCI kJ/kg	PCS kJ/kg
Gas natural	0,78 kg/m <sup>3</sup>	39.900	44.000
Propano	0,505 kg/l	46.350	50.450
Butano	0,58 kg/l	45.790	49.675
Gasóleo	0,8 kg/l	42.275	43.115

En caso de incluir el calor que se desprende por la condensación del agua, tendremos el **poder calorífico superior** (PCS).

En caso de que el vapor desprendido en la combustión no condense, tendremos el **poder calorífico inferior** (PCI).

Teniendo en cuenta lo anterior, realiza la siguiente actividad:

A la empresa Termocol le encargan llevar a cabo un estudio energético de un edificio donde se desea realizar una instalación de calefacción y ACS. Para ello cuenta con los siguientes datos:

- Última factura de un mes 3.000 kWh.
- El precio de la botella de propano de 35 kg es 67 €.
- El precio de la botella de butano de 12,5 kg es 16,32 €.
- El precio del gas natural lo dividimos en término fijo y variable y son, respectivamente, 5,649 euros/mes y 0,0214 euros/kWh. 1 m<sup>3</sup> equivale a 10,748 kWh, aproximadamente.
- El precio del gasóleo está a 1 €/l.

Averigua qué tipo de combustible interesa más utilizar en la instalación del edificio.



# Instalaciones de agua caliente sanitaria y calefacción

# 11



¿Cómo es posible que, cada vez que se abre el grifo, pueda salir agua caliente? o ¿cómo es posible que, tan solo dando a un botón, puedan calentarse nuestros hogares? Detrás de todo esto, se encuentran las instalaciones de calefacción y agua caliente sanitaria, llamada a partir de ahora ACS.

La sociedad ha logrado todos estos avances, pero el consumo de agua y de energía para calentar los fluidos para transportar el calor es elevado, por ello, se ha recurrido a fuentes de energía renovables como la energía solar térmica, que nos permite utilizar una energía limpia e inagotable, y también hay que destacar el auge de las calderas de biomasa.

## Contenidos

- 11.1. Elementos auxiliares de una instalación de calefacción
- 11.2. Instalaciones de ACS y calefacción
- 11.3. Instalaciones de ACS con energía solar térmica
- 11.4. Eficiencia energética
- Resumen
- Actividades finales

## Objetivos

- Enumerar los elementos auxiliares de la instalación de calefacción y ACS.
- Estudiar la función de los elementos auxiliares de una instalación de calefacción y ACS.
- Conocer los diferentes esquemas de las instalaciones de calefacción y ACS.
- Analizar la importancia de la energía solar térmica y la eficiencia energética.

## 11.1. Elementos auxiliares de una instalación de calefacción

Una instalación de calefacción está formada por distintos elementos, como vimos en la unidad didáctica anterior, unos denominados principales porque, si no existiera alguno de ellos, sería imposible el funcionamiento de la instalación y otros llamados auxiliares, que, aunque no impiden su funcionamiento, sí limitan el normal funcionamiento de la misma.

Los elementos auxiliares son el circulador, el manómetro, los elementos de regulación, el vaso de expansión y el dispositivo de seguridad. A continuación, vamos a ir viendo más en detalle cada uno de ellos.

### RECUERDA

Los elementos principales de una instalación de calefacción son la caldera (generador), las tuberías (distribución) y los emisores.

### 11.1.1. Circulador

En una instalación de calefacción, el agua debe transportar el calor desde la caldera hasta los emisores. Para ello, es necesario que se desplace por la tubería de distribución. Pero **¿de dónde se obtiene la energía para este desplazamiento? ¿Hace falta algún elemento para ello en la instalación? O, por el contrario, ¿puede moverse por sí misma?**

La respuesta es que el agua puede moverse sin ningún elemento adicional gracias a la diferencia de densidades entre el agua fría y la caliente, aunque su velocidad de movimiento sería muy baja y requeriría tuberías de gran diámetro. Por ello, normalmente, las instalaciones llevan unos elementos llamados circuladores o bombas que transmiten energía al agua para que se desplace.

Los tipos de circuladores que suelen emplearse en las instalaciones de calefacción son los **circuladores centrífugos**, que funcionan aplicando al agua a través de un rodete un movimiento de rotación. El rodete es accionado por un motor eléctrico, que puede ser monofásico o trifásico dependiendo de la potencia de la instalación.

Ahora bien, la bomba mueve el agua para que llegue a los emisores, pero **¿qué caudal de agua mueve la bomba? ¿Qué presión deberá vencer?** Lógicamente, para responder a estas preguntas, hay que ver cómo es la instalación, de tal forma que, si los emisores tienen que disipar mucho

calor, el caudal de agua que circulará tendrá que ser grande y, si tenemos muchos puntos de pérdida de carga a lo largo de la instalación, como pueden ser codos, desviaciones, emisores con muchos elementos, etc., entonces, tendremos grandes pérdidas de presión.

La solución para adaptar una bomba centrífuga a instalaciones con diferentes caudales y pérdidas de presión es la regulación de velocidad con la que cuentan. Normalmente, cuentan con varias posiciones. No debe olvidarse que, en caso de escoger velocidades demasiado altas, podemos tener problemas de ruidos, además de disminuir el rendimiento de la instalación.



Figura 11.1. Bombas gemelas y circulador de calefacción (cortesía de Salmson)

### SABÍAS QUE...

Las bombas centrífugas pueden instalarse con dos unidades en paralelo o, cuando es necesario, mantener una en reserva por si se produce una avería. A este tipo de bombas se las denomina *gemelas*.

### Selección del circulador

Para seleccionar el tipo de circulador, los fabricantes nos proporcionan unas gráficas en sus catálogos en las que aparece la curva característica caudal-presión del circulador, de tal forma que, conociendo ambos datos, podemos elegirlo. Normalmente, aparecen tres curvas características correspondientes a cada una de las velocidades de regulación.

- La presión o pérdida de carga se calcula con la altura manométrica de la instalación (mca).
- El caudal se calcula en función de la potencia y del salto térmico de la instalación.

$$Q = P_{\text{instalación}} / \Delta T$$

Siendo  $Q$  el caudal (l/h),  $P_{\text{instalación}}$  la potencia de la instalación (kcal/h) y  $\Delta T$  el salto térmico entre la temperatura de ida y la de retorno (°C).

### Consideraciones para la instalación de un circulador

Existen una serie de consideraciones a tener en cuenta a la hora de instalar la bomba:

- En las bombas de los circuitos de calefacción, el agua sirve para refrigerar, por tanto, si no circula agua o circula en niveles muy bajos, pueden producirse daños en las mismas.
- En la instalación de la bomba, siempre debe estar el eje en posición vertical y debemos seguir la indicación de la flecha marcada en la carcasa, que nos indica el sentido en el que debe circular el agua.
- Se recomienda que el conexionado eléctrico quede ubicado en la parte superior para evitar que pueda entrar agua en caso de fuga.

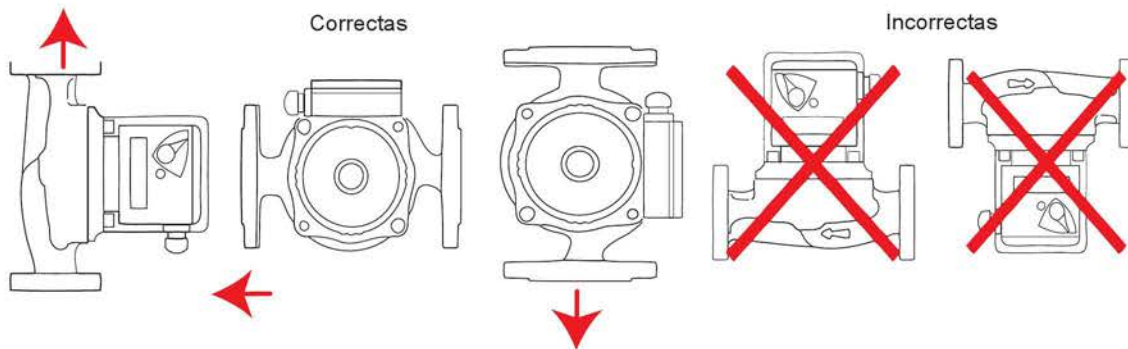


Figura 11.2. Posiciones correctas del circulador

### Actividad propuesta

- 11.1. Busca en distintos catálogos de fabricantes, por ejemplo, en Grundfos, Baxi-Roca y Willo, las diversas aplicaciones de las bombas o de los circuladores centrífugos en las que también se indican las características de las bombas seleccionadas y haz una tabla resumen en la que aparezcan por lo menos cuatro tipos de bombas.

### Actividad resuelta

- 11.1. El circulador que aparece en la figura va a colocarse en una instalación que tiene un caudal de  $4 \text{ m}^3/\text{h}$  y una presión de 3 mca. ¿Qué posición de velocidad seleccionaríamos en el circulador?

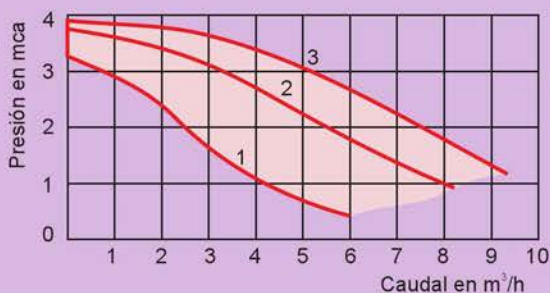


Figura 11.3. Curvas características del circulador

#### Solución:

Llevamos el punto de presión y de caudal sobre la curva del circulador que nos da el fabricante y sacamos las siguientes conclusiones:

La bomba no daría la presión suficiente ni para la velocidad 1 ni para la 2. Por tanto, debemos escoger la velocidad 3.

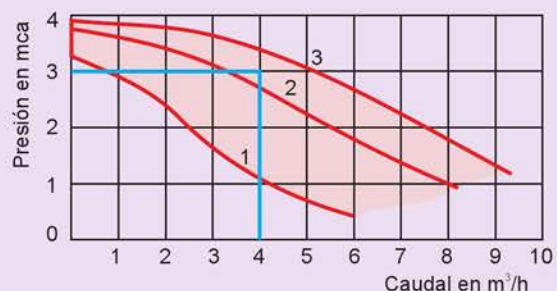


Figura 11.4. Selección de velocidad del circulador

### Actividad propuesta

**11.2.** El circulador cuya curva característica aparece en la Figura 11.5. va a colocarse en una instalación que tiene un caudal de 12 m<sup>3</sup>/h y una presión de 6 mca. Averigua qué posición de velocidad tendremos que seleccionar en el circulador.

Una vez que lo hayas seleccionado, puedes ir al catálogo del fabricante Baxi-Roca y comprobar si existen otros modelos de circuladores que también puedan utilizarse en esta instalación.

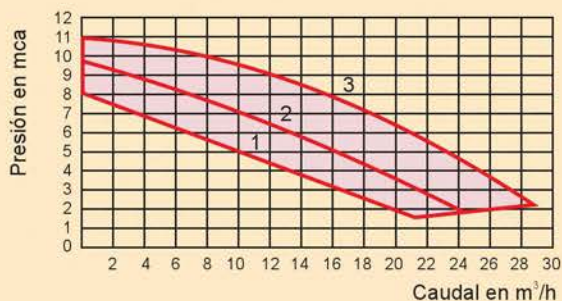


Figura 11.5. Curvas características del circulador

### 11.1.2. Vaso de expansión

La función del vaso de expansión dentro del circuito de calefacción es absorber el aumento de volumen que se produce como consecuencia de las dilataciones y de las contracciones del agua cuando se produce su calentamiento o su enfriamiento.

Los vasos de expansión pueden ser de dos tipos:

- **Vaso de expansión abierto.** Se trata de un depósito de acero abierto en la parte más alta de la instalación. Su utilización está prohibida por el RITE, aunque pueden encontrarse en instalaciones antiguas.
- **Vaso de expansión cerrado.** Se trata de un depósito de acero estanco con una membrana flexible que separa una cámara de nitrógeno del fluido de la instalación. Al calentarse el agua (fluido de la instalación), esta aumenta de volumen y provoca que la membrana se deforme y que la cámara de nitrógeno absorba esa dilatación y comprima el nitrógeno por ese cambio de presión.

#### SABÍAS QUE...

Los vasos de expansión son de diferentes colores dependiendo del uso de la instalación. Los vasos de expansión de instalaciones de calefacción son rojos y los de instalaciones de ACS son blancos.

Para dimensionar el vaso de expansión necesario en la instalación, tendremos que seguir una serie de pasos:

1. Calcular el volumen total que tenemos en la instalación.
2. Calcular el volumen de expansión, es decir, el incremento en los litros de agua que podemos tener. Para ello, es necesario tener en cuenta el factor de dilatación del agua.

$$\Delta V = F_d \times V_i$$

Siendo  $\Delta V$  el volumen de expansión (l),  $F_d$  el factor de dilatación del agua (l) y  $V_i$  el volumen de la instalación (l).

3. Calcular el volumen del vaso de expansión. Para ello, debemos tener en cuenta la presión máxima, que coincidirá con la presión máxima de funcionamiento, es decir, a la que se active la válvula de seguridad de la instalación. También depende de la presión manométrica mínima de la instalación.

$$V_v = P_{m\acute{a}x} \times \Delta V / (P_{m\acute{a}x} - P_{m\acute{i}n})$$

Siendo  $V_v$  el volumen del vaso de expansión (l),  $P_{m\acute{a}x}$  la presión máxima de funcionamiento (bar),  $P_{m\acute{i}n}$  la presión mínima o manométrica (bar) y  $\Delta V$  el volumen de expansión (l).

#### Componentes principales

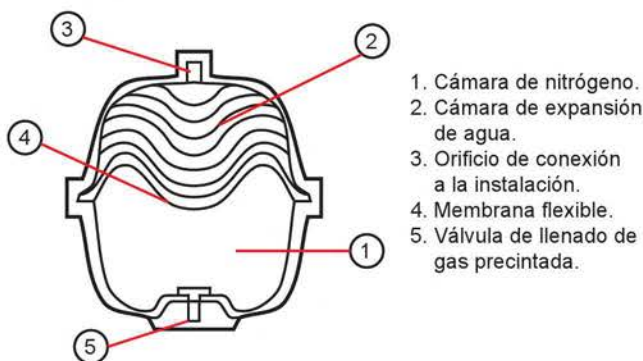
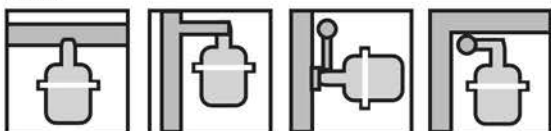


Figura 11.6. Componentes del vaso de expansión (cortesía de Solarwave)

A la hora de colocar el vaso de expansión cerrado en la instalación, deben tenerse en cuenta una serie de consideraciones:

- No deben colocarse válvulas de corte entre el vaso de expansión y la caldera porque el vaso no podría hacer su función.
- La colocación del vaso debe impedir que se formen bolsas de aire en su interior, por este motivo, los fabricantes facilitan esquemas de conexión.
- Debe instalarse en las zonas de menor temperatura, normalmente, en el retorno a la caldera y en la tubería de aspiración de los circuladores.

BIEN



MAL

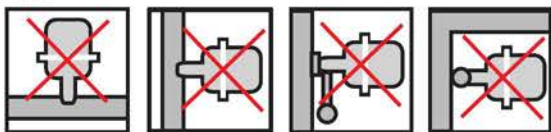


Figura 11.7. Posiciones correctas del vaso de expansión

### Actividad propuesta

- 11.3.** Halla el volumen del vaso de expansión de una vivienda con una temperatura de salida de la caldera de 85 °C y de retorno de 65 °C. La altura manométrica de la vivienda es de 1,5 mca, la presión de la válvula de seguridad es de 3 bar y el volumen total de la instalación (caldera, tuberías y radiadores) es de 50 l.

### Actividad propuesta

- 11.4.** Busca en los catálogos de Baxi-Roca distintos modelos de vasos de expansión. Observa que hay programas en distintas páginas que nos permiten realizar los cálculos del tipo de vaso de expansión para la instalación elegida, por ejemplo, en Ibaiondo.

## 11.1.3. Dispositivos de seguridad

Cabe preguntarse ¿Qué ocurriría si la temperatura del agua de la instalación aumenta por encima de su valor de funcionamiento? O ¿Si el vaso de expansión no está correctamente dimensionado? Para responder a estas preguntas y proteger el funcionamiento del circuito de calefacción de forma que se eviten peligros para las personas o la instalación, se recurre a los dispositivos de seguridad. Entre ellos podemos destacar:

### Actividad resuelta

- 11.2.** Calcula el volumen de un vaso de expansión cerrado en una instalación de una vivienda. La tubería de ida tiene una temperatura de 93 °C y la de retorno a la caldera de 68 °C. La presión de la válvula de seguridad es de 3 bar y la presión debida a la altura del líquido es 1,2 bar. El caudal total de agua que tenemos en la instalación, contando tuberías, caldera y radiadores, es de 400 l.

**Solución:**

Lo primero que debemos calcular es la temperatura media de la instalación para poder hallar el factor de dilatación del agua.

$$T_m = (T_{ida} + T_{retorno})/2 = (93 + 68)/2 = 80,5 \text{ °C}$$

En la gráfica de dilatación del agua, podemos ver que, para una temperatura de 80,5 °C, le corresponde un factor de dilatación del 3,2 % aproximadamente.



Figura 11.8. Gráfica de dilatación del agua

A continuación, se calcula el incremento en los litros de agua que podemos tener.

$$\Delta V = F_d \times V_i = 0,032 \times 400 = 12,80 \text{ l}$$

Hallaremos la presión máxima y la manométrica:

$$P_{max} = 3 + 1 = 4 \text{ bar}$$

$$P_{min} = 1,2 + 1 = 2,2 \text{ bar}$$

El volumen del vaso de expansión será:

$$V_v = P_{max} \times \Delta V / (P_{max} - P_{min}) = 4 \times 12,80 / (4 - 2,2) = 28,44 \text{ l}$$

En el catálogo del fabricante, se seleccionaría el que posea el volumen inmediatamente superior.

- **Purgadores de aire.** Su función es la eliminación del aire de los puntos de la instalación donde pueda quedar acumulado, esto es, en los puntos más altos con cambios de nivel en las tuberías.

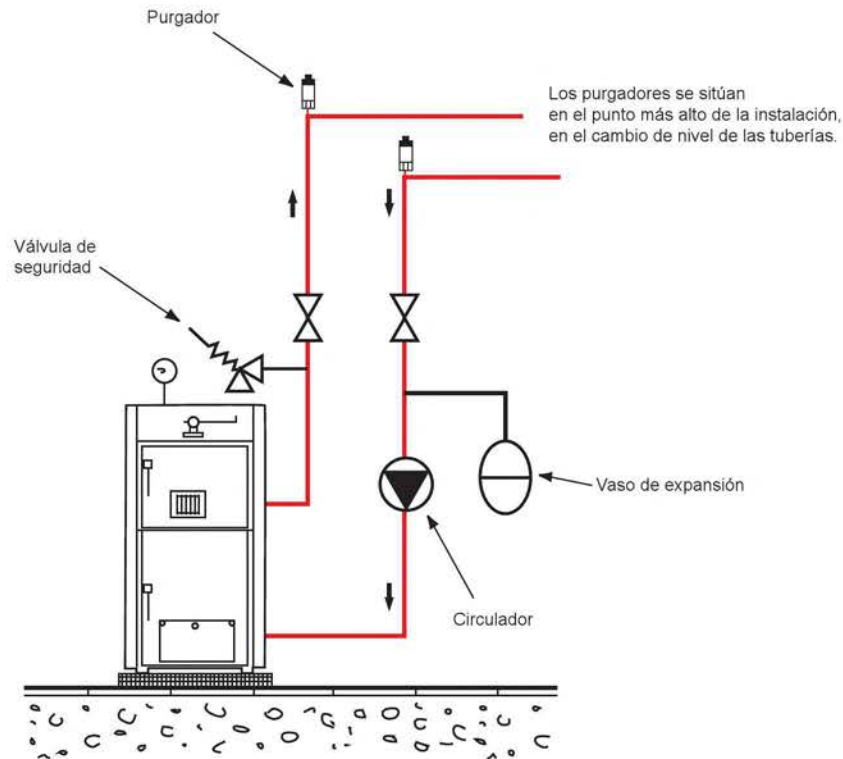


Figura 11.9. Ubicación de los purgadores de aire en una instalación de calefacción

Suelen ser de tipo automático y estar compuestos por un mecanismo de flotador y de válvula de escape. El flotador desciende al bajar el nivel de agua cuando esta arrastra aire, de tal forma que se abre la válvula de escape y permite la salida del aire al exterior.

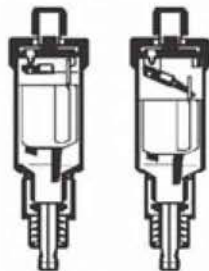
- **Separadores de aire.** Su función es la de eliminar las microburbujas que lleva el agua en suspensión, de tal forma que las agrupa formando una única bolsa, que asciende a la parte superior del separador para ser expulsada mediante un purgador automático que llevan los separadores. Cuando se tiene una velocidad del agua elevada, se utilizan separadores que aprovechan

la fuerza centrífuga para separar el aire, de tal forma que el agua es impulsada hacia las paredes del recipiente y, al ser el aire más ligero, este se sitúa en el medio para, después, ascender y ser eliminado por el purgador.



Figura 11.10. Separador de aire (cortesía de Sedical)

En las figuras, aparecen las posiciones de funcionamiento de un purgador. En la primera, no existe aire en la instalación, el flotador está hacia arriba por el empuje del agua y, por tanto, el orificio de purga está cerrado. En la segunda figura, existe aire en la instalación, el agua no tiene suficiente nivel para empujar el flotador y, por tanto, el aire es eliminado por el orificio de purga de la parte superior.



Deben situarse en los puntos de la instalación donde el agua tenga mayor temperatura y menor presión (los puntos de menor presión se encuentran en la aspiración de las bombas), que son los lugares donde es más complicado que el aire se disuelva en el agua y, por tanto, más sencillo será separar las burbujas.

- **Termostato de seguridad.** Cuando la temperatura del agua alcanza un valor límite fijado actúa sobre la bomba impulsora deteniéndola (ver Figura 11.16.).
- **Válvula de seguridad.** Su función es permitir eliminar el agua hacia un circuito de desagüe cuando la presión de la instalación suba por encima de la presión máxima que puede soportar la instalación de calefacción o ACS. Es un elemento obligatorio. Están formadas por un muelle que mantiene cerrada la válvula mientras la presión está por debajo de la máxima. Cuando esta sube, el muelle se contrae debido a la presión y la válvula se abre descargando el agua al circuito de desagüe. La presión máxima suele determinarla el vaso de expansión o la caldera, es decir, el elemento que menor presión soporte. Suelen estar taradas en valores de 3, 4 o 5 bar. No debe existir ningún elemento de corte entre la válvula de seguridad y la caldera.
- **Válvula de retención.** Esta válvula solo permite la circulación de agua en un sentido. Si intenta circular en sentido contrario, la válvula se cerraría.
- **Válvula de corte.** Permite abrir o cerrar el circuito en un determinado punto.

### 11.1.4. Dispositivos de regulación y control

El sistema de regulación y control recibe las informaciones de las diferentes sondas y sensores para administrar el funcionamiento del sistema según los parámetros que hayamos establecido. Además, también conseguimos una mejora de la eficiencia energética ya que nos aseguramos de optimizar el funcionamiento de los distintos elementos de la instalación.

Teniendo en cuenta que no todas las estancias necesitan la misma cantidad de calor o la variabilidad de la temperatura exterior podemos adaptar el funcionamiento del quemador según las necesidades de calefacción.

Se puede obtener un importante ahorro de energía en la instalación optimizando el sistema de regulación y control y el modo de funcionamiento elegido.

El sistema está compuesto por los siguientes elementos:

- **Sondas de temperatura.** Permite conocer la temperatura de un determinado punto en todo momento.
- **Manómetro o hidrómetro.** Permiten conocer la presión o la altura manométrica de la instalación. En caso de que la instalación de calefacción utilice vasos de expansión cerrados, se emplean los manómetros (su escala es en bar o  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) y, en caso de que sean abiertos, se emplea el hidrómetro (su escala es en mca). Suelen tener dos agujas, una roja y otra ne-

gra. La aguja negra marca la presión de llenado de la instalación y la roja puede desplazarse manualmente y sirve para indicar la presión mínima de la instalación y suele estar un poco por debajo de la negra.



Figura 11.11. Termohidrómetro

- **Termostato ambiente.** Su función es la de controlar la temperatura del local a calefactar.

Podemos diferenciar entre dos tipos de termostatos:

- **Todo o nada.** En cuanto se alcanza la temperatura deseada envía a la caldera la orden de parada. Con este termostato no se alcanzan altos grados de confort.
- **Modulantes.** Regulan la potencia de la caldera en función de las necesidades de cada momento. Optimizan el rendimiento de la caldera mejorando la eficiencia energética de la instalación.

Los termostatos se pueden complementar con programadores permitiendo seleccionar las horas que deseamos activar o desactivar la calefacción.

#### SABÍAS QUE...

De acuerdo al RITE el uso de los controles todo-nada está limitado a instalaciones con potencias térmicas nominales inferiores a 70 kW al mando de ventiladores, presostatos y termostatos de seguridad.

- **Presostato.** Dispositivo de seguridad que permite abrir o cerrar el circuito si las presiones suben o bajan de la presión máxima y de la mínima que puede soportar el circuito. Normalmente, las calderas llevan un dispositivo incorporado que realiza esta función, de tal forma que tanto ellas como la instalación se encuentran protegidas.
- **Válvulas de regulación.** Sirven para regular la circulación de agua por las tuberías. Hay de distintos tipos:

- **Las de zona.** Permiten aislar una parte del circuito mediante su apertura o cierre.
- **Las de tres vías.** Permiten la distribución o derivación del caudal.
- **Las mezcladoras.** Permiten la unión de dos o más caudales.
- **Fluxostato.** Asegura la existencia de agua en la tubería en la que se instala. Esto se utiliza cuando la caldera está situada en la parte alta de la instalación. Los presostatos allí situados pueden estar marcando suficiente presión y que no exista agua circulando por las tuberías.
- **Depósito de inercia.** Se trata de un depósito cuyo objetivo es aumentar la inercia térmica de la instalación, es decir, que nos permita evitar variaciones bruscas en la energía térmica acumulada.

Suelen emplearse en instalaciones de energía solar térmica para acumular el máximo de energía térmica ya que habrá periodos en los que, al no haber radiación solar, el tiempo de calentamiento sea más alto o, en caso contrario, en periodos de elevada radiación solar, permite absorber esos picos de energía de forma que no se produzcan problemas de sobretemperaturas. También nos permite disminuir el número de arrancadas de la caldera en caso de tener variaciones bruscas de temperatura.

## 11.2. Instalaciones de ACS y calefacción

Teniendo en cuenta los elementos vistos hasta ahora, el esquema básico de calefacción quedaría de la siguiente manera (véase Figura 11.12.).

Ahora bien, si el único objetivo es obtener ACS, la instalación será similar a la vista hasta ahora para la calefacción, aunque, normalmente, se coloca un depósito que nos permita acumular el agua ya calentada y que, después, será enviada hasta los puntos de consumo cuando haya demanda. Pero deberá tenerse en cuenta que las pérdidas de calor que pueden producirse deben ser lo más pequeñas posible. Este depósito recibe el nombre de *acumulador*.

El **depósito acumulador** se emplea para instalaciones de ACS seminstantáneas o por acumulación (en caso de instalaciones instantáneas, se emplea normalmente un calentador de gas). Pueden ser de distintos materiales: acero inoxidable, acero al carbono o esmaltados vitrificados. En todos ellos, se colocará un aislamiento de espuma de poliuretano. Los hay de dos tipos:

- **De doble camisa.** Por la parte exterior de la camisa, circulará el fluido caloportador que se ha calentado en la caldera y, por la parte interior, el agua caliente que se emplea para el consumo.

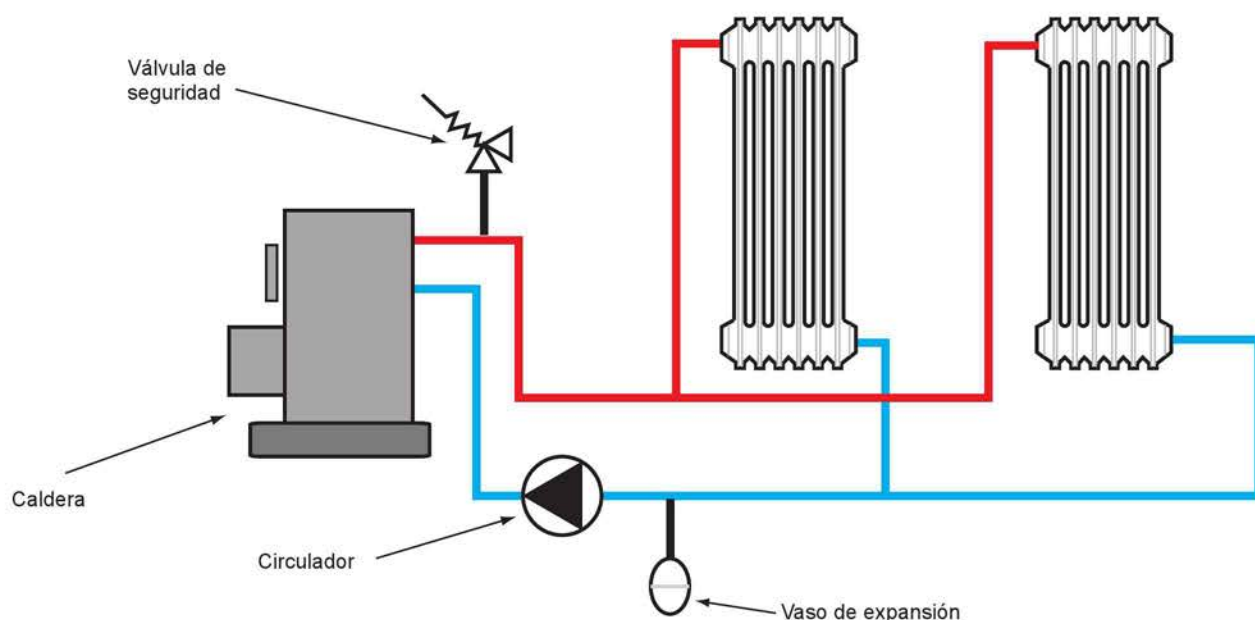


Figura 11.12. Esquema simplificado de una instalación de calefacción



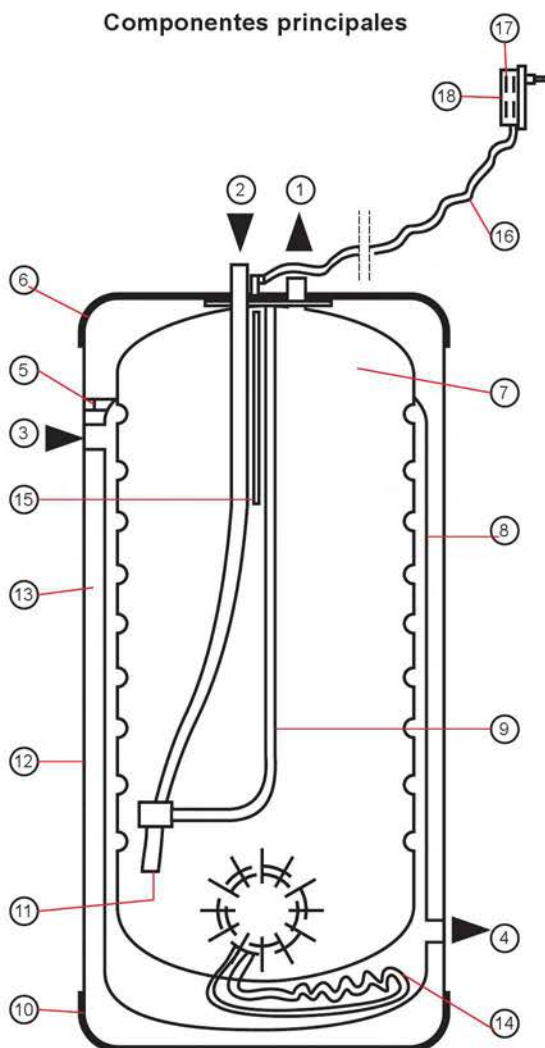
- **Con serpentín.** Por el interior del serpentín, circula el fluido caloportador y, por el exterior del depósito, se encuentra el agua de consumo. Soportan presiones mayores que los de camisa, aunque son más propensos a que se formen incrustaciones de cal.

### SABÍAS QUE...

En las zonas donde el agua tenga una elevada concentración de cloruros, se hace necesaria la utilización de depósitos acumuladores con protección catódica para evitar problemas de corrosión. Esta protección consiste en colocar el llamado ánodo de sacrificio (aleación de zinc, magnesio o aluminio) en el interior del depósito, de tal forma que se corra este en lugar de la superficie metálica del depósito.



Figura 11.13. Depósito acumulador con serpentín



1. Salida agua caliente sanitaria (citruido secundario).
2. Entrada agua fría sanitaria (citruido secundario).
3. Ida de caldera (citruido primario).
4. Retorno a caldera (citruido primario).
5. Purgador de aire.
6. Cubierta PVC
7. Depósito acumulador de acero inoxidable.
8. Envoltente exterior de acero.
9. Vaina sondas termostato y termómetro.
10. Base de PVC
11. Tubo sonda PVC
12. Forro exterior acolchado.
13. Aislamiento de poliuretano inyectado.
14. Resistencia eléctrica calefactora (opcional).
15. Ánodo de protección.
16. Cables de conexión.
17. Potenciostato.
18. Piloto de control.

Figura 11.14. Esquema de un depósito acumulador de doble camisa

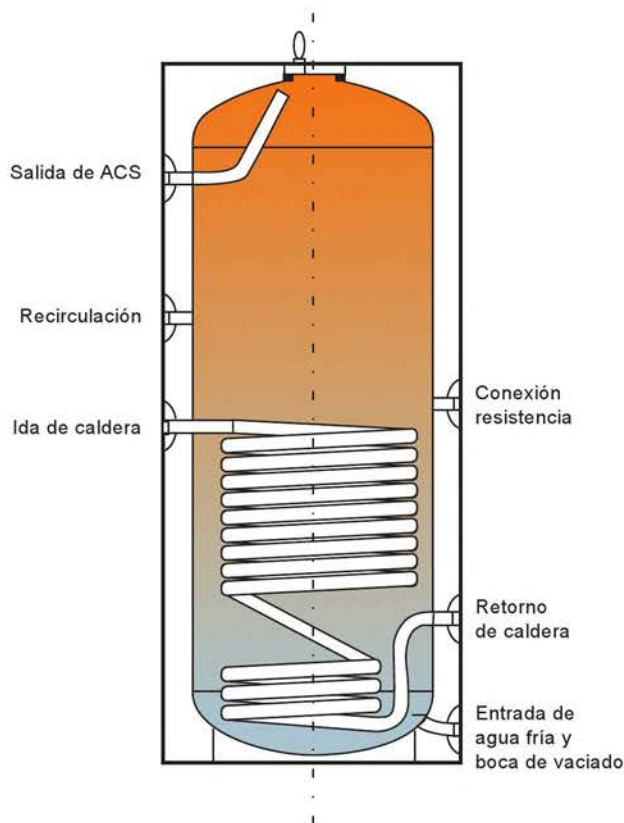


Figura 11.15. Esquema de un depósito acumulador con serpentín

Pero, en ambos casos, tenemos dos circuitos:

- **Circuito primario (agua de la caldera).** Por donde circula el fluido caloportador que ha absorbido el calor en la caldera.
- **Circuito secundario (agua de consumo).** Por donde circula agua sanitaria que va a calentarse mediante un serpentín o en la parte exterior de la camisa si se trata de un acumulador de camisa. La entrada de agua fría se produce por la parte inferior del depósito, mientras que la salida del agua caliente se produce por la parte superior. El motivo de esta distribución hidráulica es la **estratificación** del agua, que se produce por convección natural subiendo el agua caliente a la parte superior y el agua fría bajando a la parte inferior. Esto es de suma importancia cuando se utiliza energía solar térmica ya que nos permite asegurarnos de que el agua que va a utilizarse para el consumo está a elevada temperatura y que el agua que va a retornar a los captadores va a baja temperatura.

Finalmente, el esquema quedaría como muestra la Figura 11.16.

También puede incluirse un **intercambiador de calor** entre la caldera y el acumulador cuando los volúmenes de acumulación son elevados. Esto permite mejorar la distribución de calor en el volumen de agua del depósito. Los hay de dos tipos:

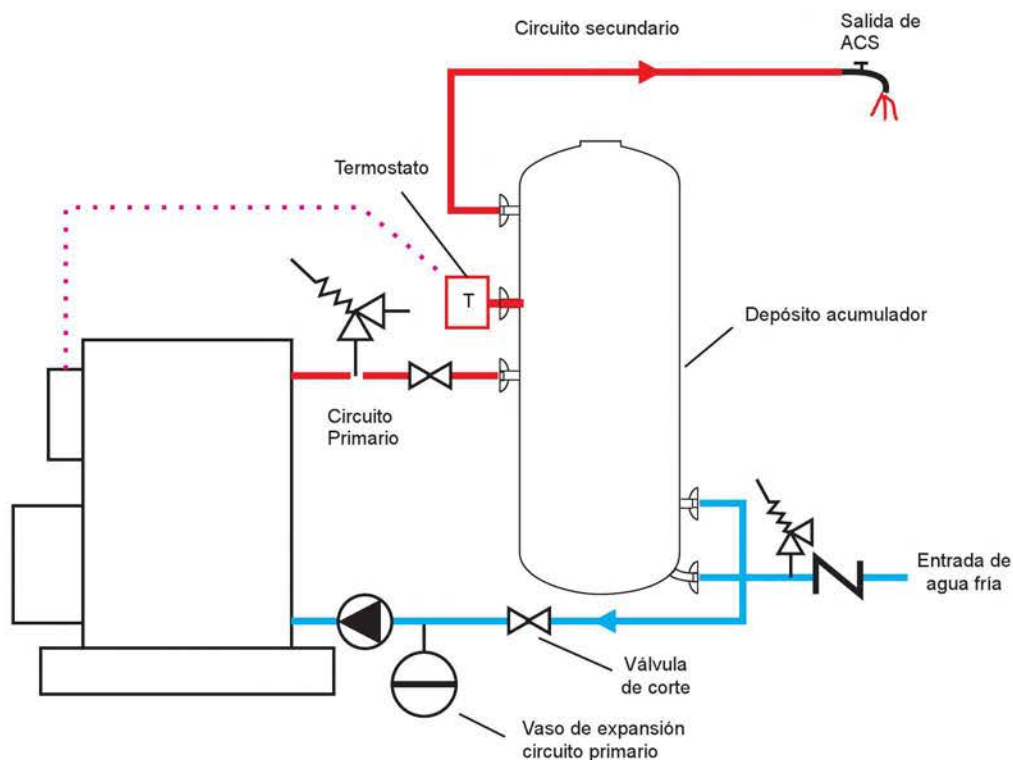


Figura 11.16. Esquema de una instalación de ACS

- **Tubulares.** Se trata de una carcasa con un haz de tubos en su interior.
- **De placas.** Se trata de una serie de placas de acero inoxidable unidas entre sí y colocadas sobre una estructura. Los dos fluidos, el fluido caloportador y el agua de consumo, circulan por cada lado de las placas intercambiando calor, pero sin entrar en contacto directo. Son los más utilizados en instalaciones de ACS o calefacción.

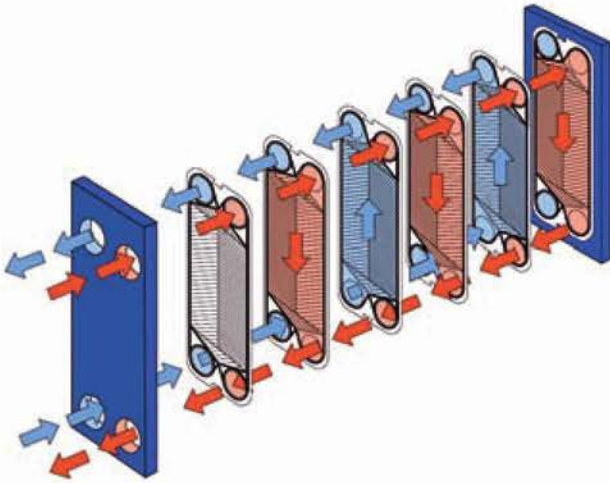


Figura 11.17. Intercambiador de placas

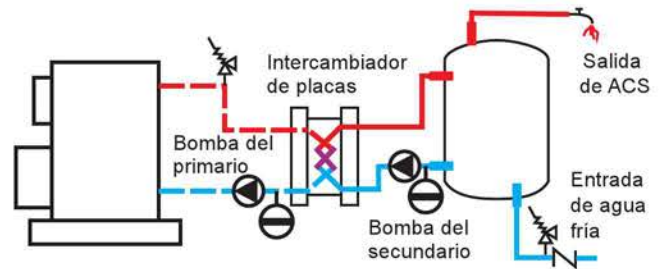


Figura 11.18. Esquema de un sistema de calefacción con intercambiador de placas

Cuando, en la instalación, se tiene suministro de ACS y de calefacción, tenemos una instalación mixta, que será una mezcla de las dos anteriores. Para ello, podemos recurrir a la utilización de una válvula de tres vías.

Este esquema suele utilizarse en viviendas unifamiliares (Figura 11.19.). En este caso, no podemos tener suministro de ACS y de calefacción simultáneamente. Para conseguir tener ambos al mismo tiempo, se recurrirá a una nueva instalación en la que tengamos un circuito de calefacción y otro de ACS con bombas diferentes (Figura 11.20.).

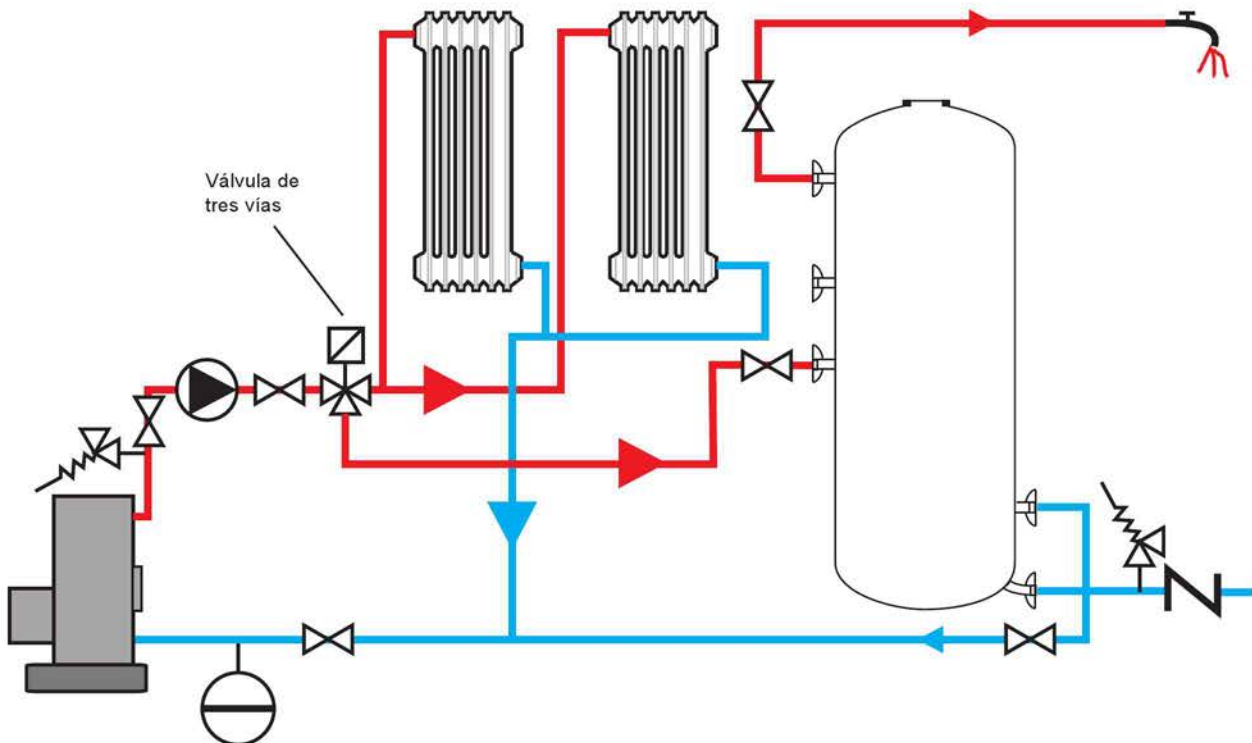


Figura 11.19. Esquema de un sistema de calefacción con válvula de tres vías

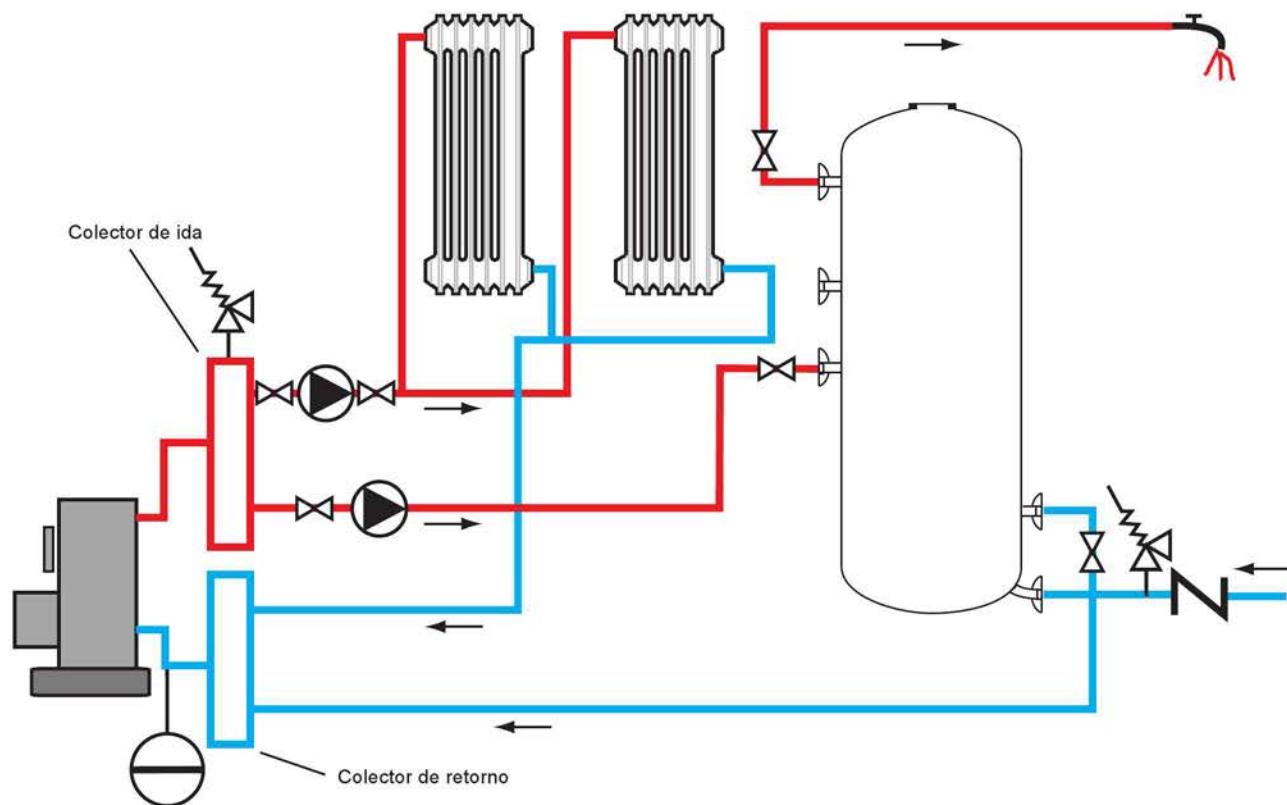


Figura 11.20. Esquema de un sistema de calefacción con circuitos diferentes para ACS y para calefacción

## 11.3. Instalaciones de ACS con energía solar térmica

Antes de ver los distintos esquemas para las instalaciones de energía solar térmica, veremos algunos conceptos que son fundamentales para entender la instalación.

### 11.3.1. Captadores solares

Se trata del generador de la instalación. Es el lugar donde se capta la radiación solar incidente y se transmite al fluido caloportador del circuito primario de la instalación.

Existen dos tipos de captadores solares:

#### Captadores planos

Son los más utilizados en las instalaciones de energía solar térmica. Sus partes son:

- **Absorbedor.** Es el elemento donde la radiación se transforma en calor. Está formado por una o varias laminas metálicas (de acero, cobre o aluminio) adheridas a los tubos de cobre. Tienen un recubrimiento especial para aumentar su capacidad de absorción (pintura oscura o tratamiento selectivo).

- **Tubos.** Por su interior, circula el fluido caloportador. Están en contacto con el absorbedor. Pueden tener distintas configuraciones: en parrilla, en serpentín o en doble arpa.
- **Superficie transparente.** Colocada por encima de la placa absorbedor, la protege de la climatología exterior e impide que salga el calor. Suele estar fabricada en vidrio o en plástico.
- **Aislamientos.** Su objetivo es impedir que el calor generado se pierda, por ello, se colocan en la parte posterior y en los laterales.

#### SABÍAS QUE...

Cuando se tienen varios captadores, estos deben disponerse en filas que tienen que estar constituidas preferentemente por el mismo número de elementos. Las filas de captadores pueden conectarse entre sí en serie (a) en paralelo (b) o en serie-paralelo (c).

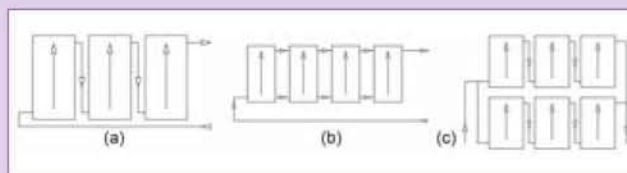




Figura 11.21. Captadores planos sobre cubierta

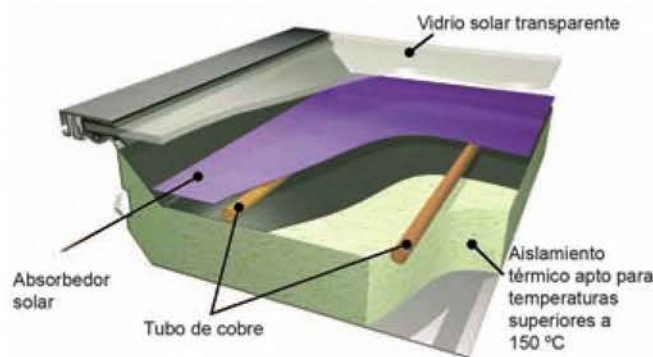


Figura 11.22. Partes de un captador plano (cortesía de Baxi-Roca)

### ■ ■ ■ Captadores de tubo de vacío

Las partes son las mismas que en un captador plano, pero la diferencia es el aislamiento, que, en este caso, será el vacío, lo cual proporciona un alto rendimiento en todo el rango de temperaturas. En estos captadores, cada tubo, con una parte del absorbedor, se encuentra en el interior de una burbuja de cristal en la cual se ha extraído el aire. Algunos fabricantes sustituyen el aire por gas xenón para disminuir las pérdidas de calor.

#### ■ RECUERDA

El circuito primario es por el que circula el fluido caloportador que se ha absorbido en el generador (captador). El circuito secundario lo forma la parte de la instalación por la que circula el agua de consumo.



Figura 11.23. Captadores de tubo de vacío

### ■ ■ 11.3.2. Partes de una instalación solar térmica

Podemos dividir una instalación solar térmica en las siguientes partes:

- **Sistema de captación.** Lo forman los captadores por los que circula el fluido caloportador y el anticongelante. El anticongelante evita que el fluido caloportador se congele cuando las temperaturas son bajas.
- **Sistema de acumulación.** Como la producción y la demanda de ACS no es constante, se coloca un depósito acumulador en el que se produce una transferencia térmica entre el fluido caloportador y el agua de consumo, pero ambos fluidos no se mezclan en ningún momento, tan solo intercambian calor a través del serpentín o de la camisa dependiendo del tipo de acumulador.
- **Sistema de apoyo.** En caso de que la energía solar no permita cubrir toda la demanda, se coloca un sistema de apoyo formado por una instalación con caldera.
- **Sistema de regulación y control.** Está formado por los termostatos, sondas de temperatura, termómetros, etc. que permiten el correcto funcionamiento de la instalación.

#### ■ SABÍAS QUE...

Existen instalaciones en las que no se utiliza circulador para mover el fluido del circuito primario, sino que se mueve por convección natural debido a la diferencia de densidades entre el agua caliente y la fría. De esta forma, existen las instalaciones de termosifón, que integran el captador y el depósito acumulador.



De esta forma, podemos representar el esquema de una instalación solar térmica de la manera siguiente:

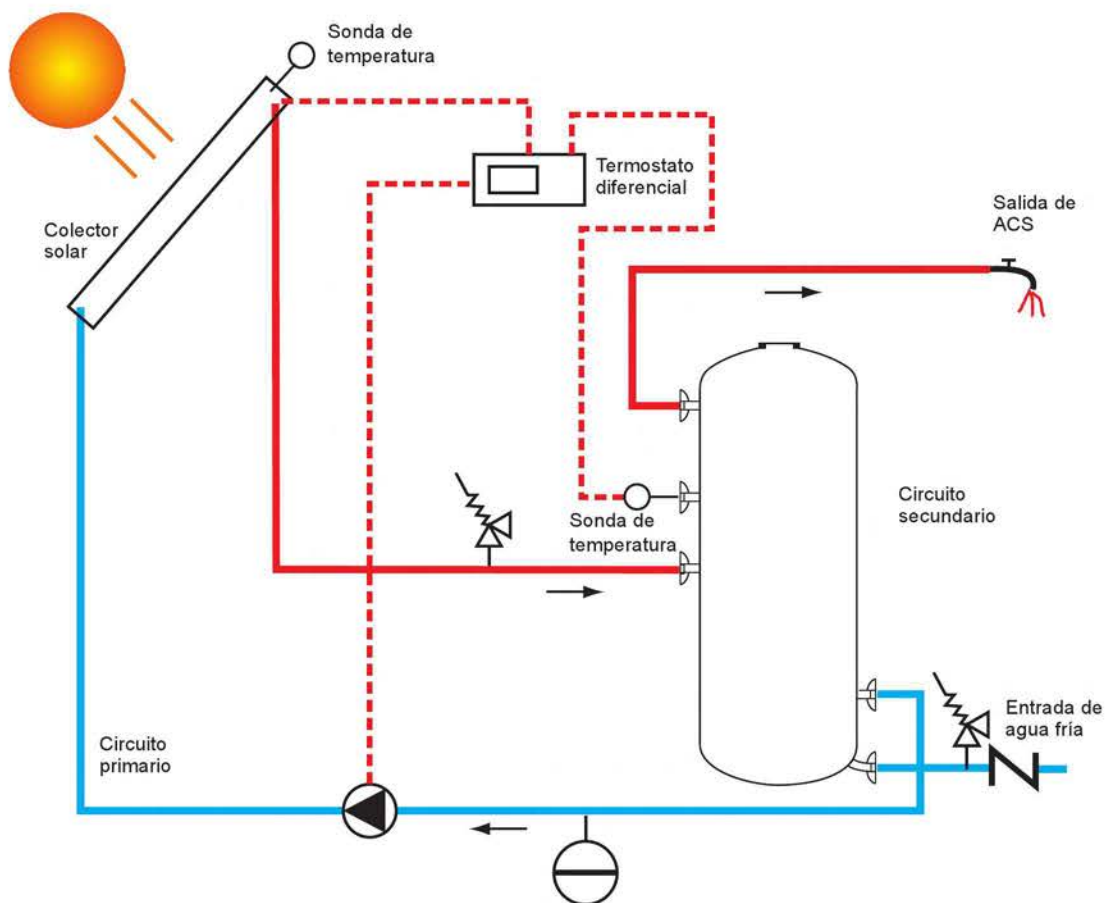


Figura 11.24. Esquema de un sistema de calefacción con energía solar térmica

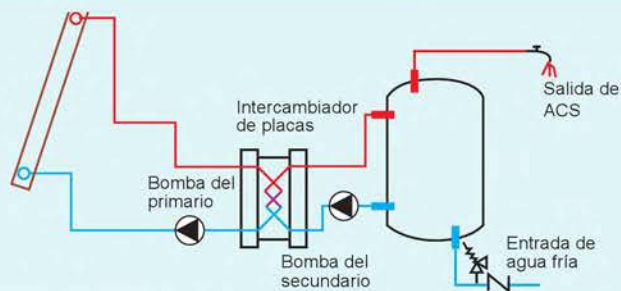
En el esquema, vemos que el fluido caloportador se mueve gracias a una bomba en el circuito primario. De esta forma, este fluido, al llegar al acumulador, calienta el agua de consumo. Pero ¿cómo determinamos en qué momento debe arrancar la bomba del circuito primario? La respuesta es con un termostato diferencial. A este le llega la información de las temperaturas de dos sondas: una colocada en la parte superior del captador y la otra, en la parte baja

del acumulador. Cuando la temperatura del captador esté a  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$  por encima de la del acumulador, la bomba arrancará y se desconectará cuando la diferencia sea de entre  $3$  y  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Mediante una válvula mezcladora, nos aseguramos de que la temperatura de consumo no produce quemaduras ya que esta puede alcanzar temperaturas de alrededor de  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Figura 11.26.).

## RECUERDA

Si el volumen de acumulación es elevado, se colocará un intercambiador de placas entre el generador (captador) y el depósito.



### Actividad propuesta

11.5. Representa un esquema de una instalación de ACS con energía solar térmica. A continuación, busca los elementos que has representado en la web del fabricante Baxi-Roca en internet.

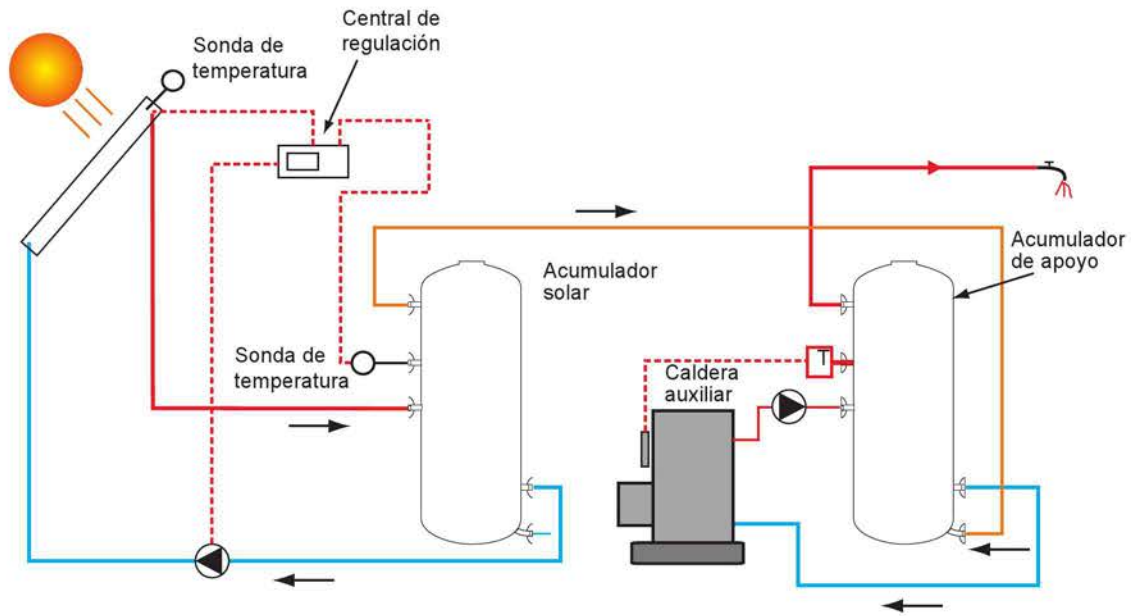


Figura 11.25. Esquema de un sistema de calefacción con apoyo de energía solar térmica

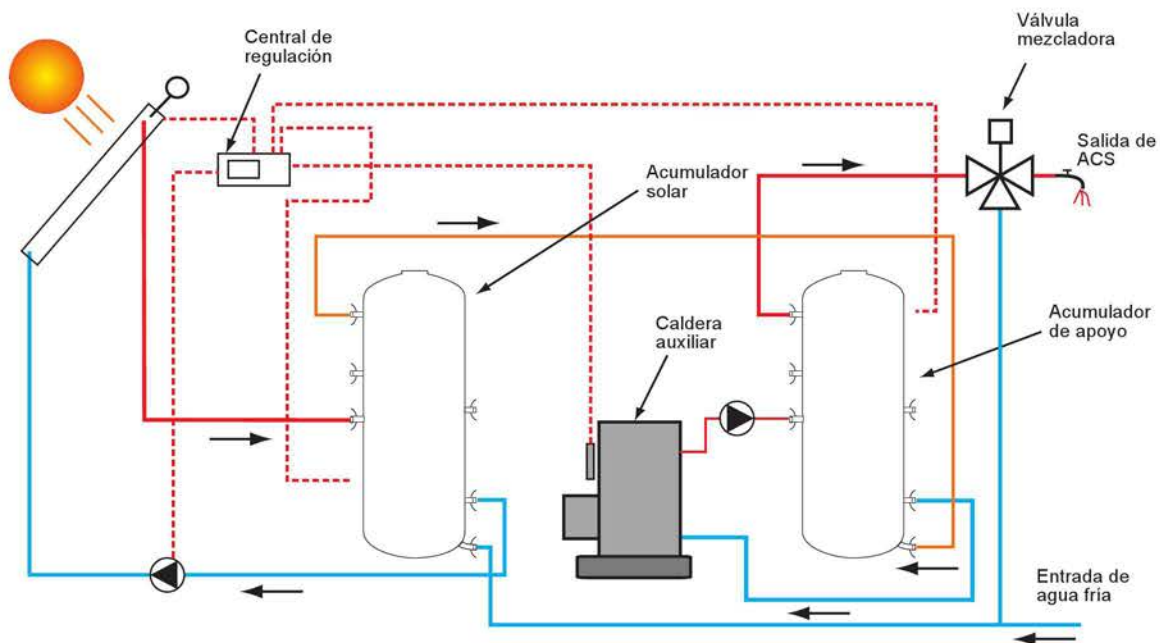


Figura 11.26. Esquema de un sistema de calefacción con apoyo de energía solar térmica y válvula mezcladora

## 11.4. Eficiencia energética

Para conseguir mantener las condiciones de confort de forma que el consumo energético sea sostenible con los recursos existentes, es necesario que las instalaciones y los equipos sean energéticamente eficientes.

Como ya hemos visto, la preocupación por el cambio climático ha llevado a la retirada de determinados refrigerantes empleados en las instalaciones de climatización y refrigeración, pero estas acciones también se amplían a distintos ámbitos como son la edificación o los equipos de acondicionamiento de aire.

El Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios transpone parcialmente la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, en lo relativo a la certificación de eficiencia energética de edificios, refundiendo el Real Decreto 47/2007, de 19 de enero.

En el Real Decreto 235/2013 se define el concepto **Calificación de la eficiencia energética de un edificio o parte del mismo** como: «La expresión de la eficiencia energética de un edificio o parte del mismo que se determina de acuerdo con la metodología de cálculo establecida en el documento reconocido correspondiente al Procedimiento básico y se expresa con indicadores energéticos mediante la etiqueta de eficiencia energética».

Entre las principales medidas incorporadas está la de establecer un **Certificado de Eficiencia Energética** con las características energéticas de los edificios, para que los compradores o arrendatarios puedan comparar objetivamente las características energéticas y a la vez fomentar una construcción cada vez más eficiente. Los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios o unidades de éste se establecen en el Código Técnico de la Edificación.

En cuanto a los acondicionadores de aire también es obligatoria la incorporación de una etiqueta energética desde el 1 de enero de 2013. La información de la nueva etiqueta incluye las nuevas clasificaciones de eficiencia estacional para calefacción (SCOP) y refrigeración (SEER), además de los niveles sonoros y el consumo energético anual.

El objetivo final de toda esta normativa es tratar de que todos los factores implicados en mantener unas condicio-

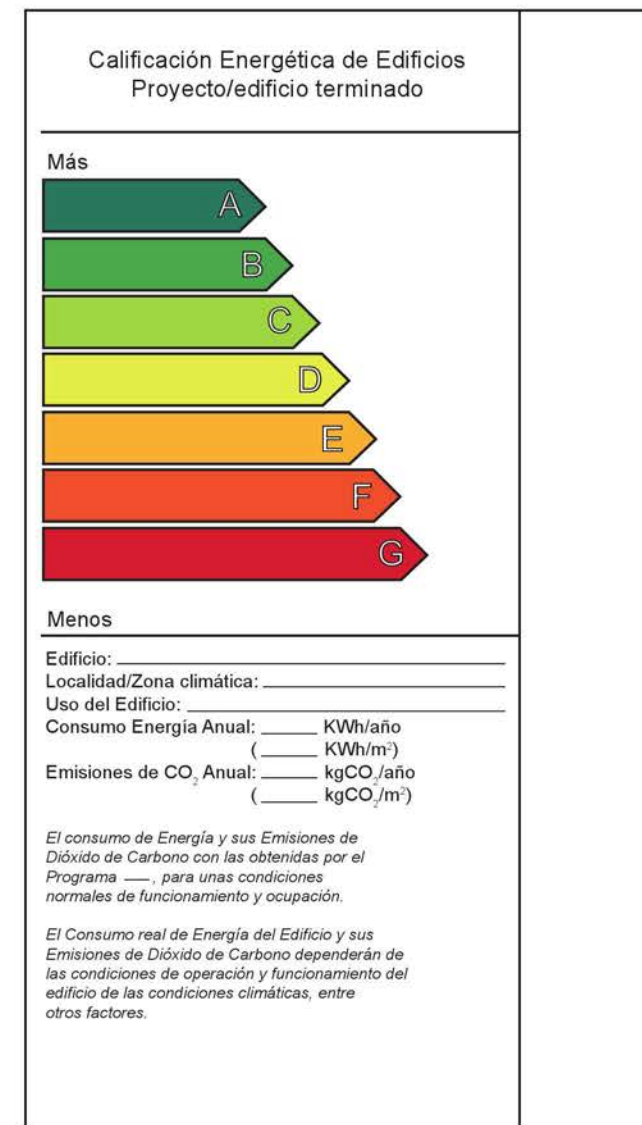


Figura 11.27. Etiqueta calificación energética de viviendas

nes interiores de los locales, ya sean viviendas, oficinas, polideportivos o cualquier otro tengan los menores gastos energéticos. Así pues aspectos como los aislamientos de los cerramientos, los recuperadores de energía, el enfriamiento gratuito, la energía solar térmica, etc., juegan un papel importante en la conservación del medio ambiente a través de la reducción del gasto energético.



Elemento	Características
<b>Circulador centrífugo</b>	Es el elemento de la instalación encargado de aportar energía para mover el agua. Estos pueden adaptarse a distintas instalaciones con diferentes caudales y pérdidas de presión mediante la regulación de velocidades. Para seleccionarlas, se emplea la curva característica caudal-presión del circulador.
<b>Vaso de expansión</b>	Su función es absorber el aumento de volumen que se produce como consecuencia de las dilataciones y de las contracciones del agua cuando se produce su calentamiento y su enfriamiento. Los vasos de expansión pueden ser de dos tipos: abiertos o cerrados. Estos últimos son los más empleados porque los abiertos están prohibidos y solo pueden encontrarse en instalaciones antiguas.
<b>Purgador de aire</b>	Su función es la eliminación del aire de los puntos de la instalación donde pueda quedar acumulado, esto es, en los puntos más altos con cambios de nivel en las tuberías. Suelen ser de tipo automático y están compuestos por un mecanismo de flotador y de válvula de escape.
<b>Separador de aire</b>	Su función es eliminar las microburbujas que lleva el agua en suspensión, de tal forma que las agrupa formando una única bolsa que asciende a la parte superior del separador para ser expulsada mediante un purgador automático que llevan los separadores. Cuando se tiene una velocidad del agua elevada, se utilizan separadores que aprovechan la fuerza centrífuga para separar el aire.
<b>Válvula de seguridad</b>	Permite eliminar el agua hacia un circuito de desagüe cuando la presión de la instalación sube por encima de la presión máxima que puede soportar la instalación de calefacción o de ACS.
<b>Válvula de retención</b>	Permite la circulación del agua en un solo sentido.
<b>Válvula de corte</b>	Permite abrir o cerrar el circuito.
<b>Depósito de inercia</b>	Tiene como función aumentar la inercia térmica de la instalación, es decir, que nos permite que los procesos de calentamiento y de enfriamiento sean más rápidos. Suelen emplearse en instalaciones de energía solar térmica.
<b>Termómetro</b>	Permite conocer la temperatura del agua de la instalación en todo momento.
<b>Manómetro o hidrómetro</b>	Permite conocer la presión o la altura manométrica de la instalación.
<b>Termostato</b>	Controla la temperatura máxima del agua del circuito (termostato de seguridad) o la temperatura del local a calefactar (termostato de ambiente).
<b>Presostato</b>	Abre o cierra el circuito si las presiones suben o bajan de las presiones máximas y de las mínimas que puede soportar el circuito. Normalmente, las calderas llevan incorporado un dispositivo que realiza esta función, de tal forma que tanto ellas como la instalación se encuentran protegidas.
<b>Válvulas de regulación</b>	Regulan la circulación de agua por las tuberías.
<b>Fluxostato</b>	Asegura la existencia de agua en la tubería en la que se instala.
<b>Depósito acumulador</b>	Acumula el agua ya calentada y que, después, será enviada hasta los puntos de consumo cuando haya demanda. Existen dos tipos: de doble camisa y con serpentín.

- En las instalaciones de calefacción y de ACS, hay un circuito primario por el que circula el fluido caloportador que ha absorbido el calor en la caldera y un circuito secundario por el que circula agua sanitaria.
- Cuando el volumen del depósito de acumulación es grande, se coloca un intercambiador de calor entre la caldera y el acumulador. En sistemas de calefacción y de ACS, suelen utilizarse intercambiadores de placas.
- Los captadores solares son el generador en las instalaciones de energía solar térmica. Existen dos tipos: los planos y los de tubo de vacío. Una instalación de energía solar térmica se divide en: sistema de captación, sistema de acumulación, sistema de apoyo y sistema de regulación y control.
- Para mejorar la eficiencia energética de los edificios, se han introducido los conceptos de calificación energética y de certificación de eficiencia energética.

## ■ Actividades de comprobación

- 11.1.** La solución para adaptar una bomba centrífuga a instalaciones con diferentes caudales y presiones es:
- Las bombas gemelas.
  - La regulación de velocidad de las bombas.
  - Colocar el eje en posición vertical y seguir la indicación de la flecha marcada en su carcasa.
  - Colocar el conexionado eléctrico de la bomba en la parte superior.
- 11.2.** Señala la respuesta correcta:
- El vaso de expansión cerrado está prohibido, aunque puede encontrarse en instalaciones antiguas.
  - Los vasos de expansión de las instalaciones de ACS son rojos.
  - Debe colocarse una válvula de corte entre el vaso de expansión y la caldera.
  - Ninguna de las anteriores es correcta.
- 11.3.** El vaso de expansión tiene como función:
- Transmitir la energía al agua para que se desplace.
  - Absorber el aumento de volumen que se produce como consecuencia de las dilataciones y de las contracciones.
  - Asegurar el suministro de calefacción en todo momento.
  - Eliminar el aire de los puntos de la instalación donde pueda quedar acumulado.
- 11.4.** La diferencia entre los purgadores de aire y los separadores de aire es que:
- Los purgadores se emplean en las instalaciones de ACS y los separadores en las de calefacción.
  - Los purgadores se utilizan en instalaciones con bajas presiones y los separadores en las de altas presiones.
  - Los purgadores son automáticos y los separadores manuales.
  - Los purgadores eliminan aire y los separadores microburbujas.
- 11.5.** Señala la respuesta incorrecta:
- La función de la válvula de seguridad es permitir eliminar el agua hacia un circuito de desagüe cuando la presión de la instalación sube por encima de la presión máxima.
  - No debe existir ningún elemento de corte entre la válvula de seguridad y la caldera.
  - Las válvulas de seguridad cuentan con un muelle que las mantiene cerradas mientras la presión está por debajo de la máxima.
  - Ninguna de las anteriores es incorrecta.
- 11.6.** Los depósitos de inercia:
- No pueden utilizarse en instalaciones de producción de ACS por energía solar térmica.
  - Almacenan el agua de la instalación en caso de labores de mantenimiento o de avería.
  - En épocas de elevada radiación solar, evitan problemas de sobretemperaturas.
  - Ninguna de las anteriores es correcta.
- 11.7.** La válvula de retención permite:
- Abrir o cerrar el circuito en un determinado punto.
  - La circulación del agua en un único sentido.
  - Eliminar el agua hacia un circuito de desagüe cuando la presión de la instalación suba por encima de la presión máxima.
  - Desviar el agua en dos direcciones diferentes.
- 11.8.** El fluxostato se emplea para:
- Eliminar el aire de los puntos de la instalación donde pueda quedar acumulado.
  - Asegurar la existencia de agua en la tubería que se instala.
  - Abrir o cerrar el circuito si las presiones suben por encima de la presión máxima o bajan por debajo de la presión mínima.
  - Ninguna es correcta.
- 11.9.** El circuito secundario es:
- Por donde circula el fluido caloportador que ha absorbido de la calera.
  - Por donde circula el agua sanitaria que va a calentarse mediante un serpentín.
  - Por donde circula el agua de los captadores solares.
  - Por donde circula el agua de los radiadores.
- 11.10.** El absorbente de un colector solar:
- Es el elemento donde la radiación se transforma en calor.
  - Protege al captador de la climatología exterior.
  - No se emplea en los colectores de tubo de vacío.
  - Ninguna es correcta.

## Actividades de aplicación

- 11.11.** Describe un sistema de calefacción por agua caliente.
- 11.12.** Nombra en qué elementos puede eliminarse el aire de una instalación de calefacción.
- 11.13.** Cita la función de la válvula de seguridad.
- 11.14.** Indica para qué se emplean las siguientes válvulas:
- De seguridad.
  - De retención.
  - De tres vías.
  - Mezcladora.
- 11.15.** En una instalación de producción de ACS por energía solar térmica, se ha recomendado la instalación de un intercambiador de placas:
- Justifica los motivos de esta recomendación.
  - Dibuja un esquema indicando la ubicación del intercambiador y los nombres de los elementos entre los que está situado.
- 11.16.** Describe los tipos de depósitos acumuladores que existen y enumera las ventajas y los inconvenientes de cada uno.
- 11.17.** El circulador cuya curva característica aparece en la Figura 11.3. va a colocarse en una instalación que tiene un caudal de  $5 \text{ m}^3/\text{h}$  y una presión de 3 mca.
- Averigua qué posición de velocidad tendremos que seleccionar en el circulador.
  - Explica qué ocurriría si aumentase la presión y cómo podría solucionarse.
- 11.18.** Argumenta por qué se emplean recubrimientos selectivos espaciales en el absorbente de un colector.
- 11.19.** Calcula el volumen de un vaso de expansión cerrado del circuito de calefacción de una vivienda. La tubería de ida tiene una temperatura de  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  y la de retorno a la caldera de  $62 \text{ }^\circ\text{C}$ . La presión de la válvula de seguridad es de 3 bar, la presión debida a la altura del líquido es de 1,2 bar y el caudal total de agua que tenemos en la instalación, contando tuberías, caldera y radiadores, es de 150 l.
- 11.20.** Señala con qué elemento puede variarse el caudal de agua que circula por una instalación.
- 11.21.** Describe las distintas partes en las que puede dividirse un circuito de producción de ACS por energía solar térmica.

## Actividades de ampliación

- 11.22.** Una de las tareas de los técnicos de mantenimiento es resolver las posibles averías que se planteen en las instalaciones. Imagina que te llaman para una avería en la que te proporcionan la información siguiente: se trata de una instalación que da suministro de calefacción y de ACS, es verano y, por tanto, solo tendremos demanda de ACS, pero el cliente ha notado que los radiadores están ligeramente calientes. Responde a las siguientes cuestiones:
- ¿Cuáles pueden ser los motivos?
  - ¿Cómo puede solucionarse?
- 11.23.** En una instalación de calefacción, tenemos una bomba centrífuga con una regulación de velocidad en la posición 2. Deseamos conocer el caudal de agua que circula por ella y, para ello, se han colocado dos manómetros: uno en la aspiración de la bomba y otro en la descarga. El primero nos indica una presión de

aspiración de 1,5 bar y el segundo, una presión de descarga de 2,5 bar. Utiliza para ello la gráfica que te proporciona el fabricante que aparece a continuación.

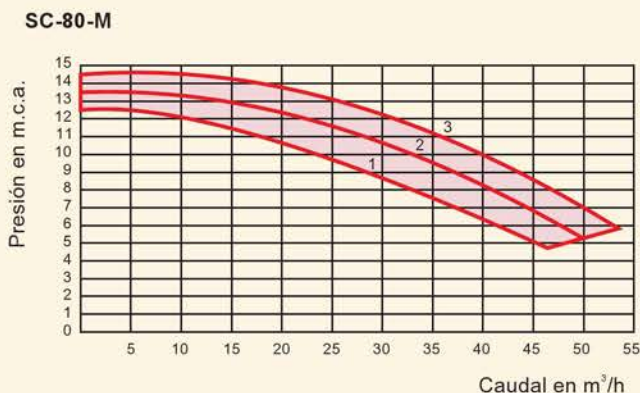


Figura 11.28. Curva característica de la bomba

11.24. Busca información de dos modelos de captadores, uno plano y otro de vacío. Puedes encontrar la información en las páginas web de Viessmann, Ferroli o Baxi Roca. Completa los datos de la tabla siguiente.

	Captador plano	Captador de tubo de vacío
Modelo		
Superficie total (m <sup>2</sup> )		
Dimensiones (anchura, altura y profundidad)		
Peso (kg)		
Diámetro de conexión (mm)		
Volumen del fluido (l)		
Presión máxima de trabajo (bar)		
Temperatura de estancamiento (°C)		

# Anexo: Diagrama psicométrico y diagramas de presión-entalpía

El diagrama psicométrico servirá de apoyo para la comprensión de la unidad 4 y la resolución de sus actividades.

Los diagramas de Presión-Entalpía servirán de apoyo para la comprensión de las unidades 5, 6, 7, 8 y 9 y la resolución de sus actividades.

## DIAGRAMA PSICOMÉTRICO

Temperaturas normales  
Presión barométrica 101.325 kPa  
Al nivel del mar

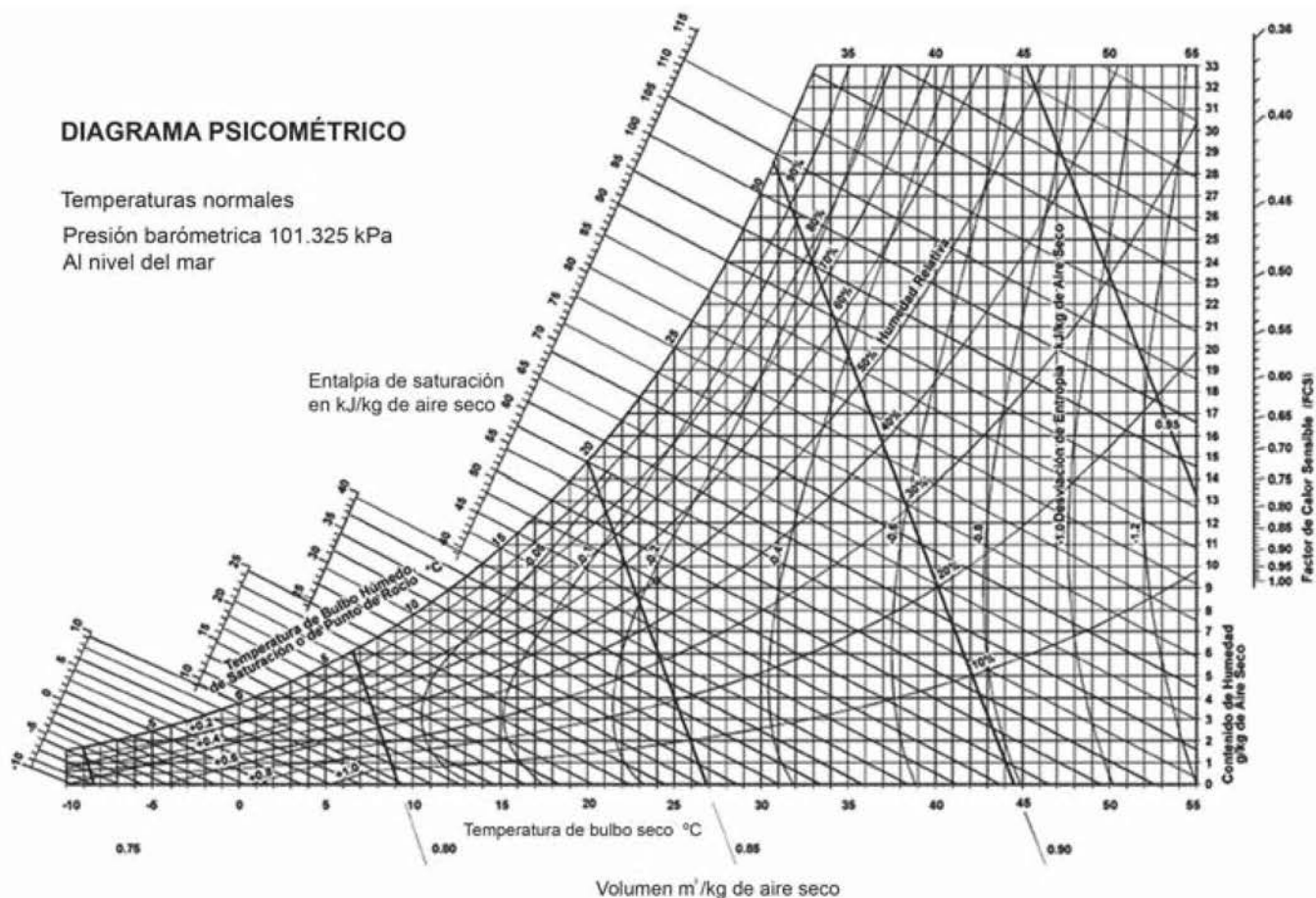


Figura A.1. Diagrama psicométrico

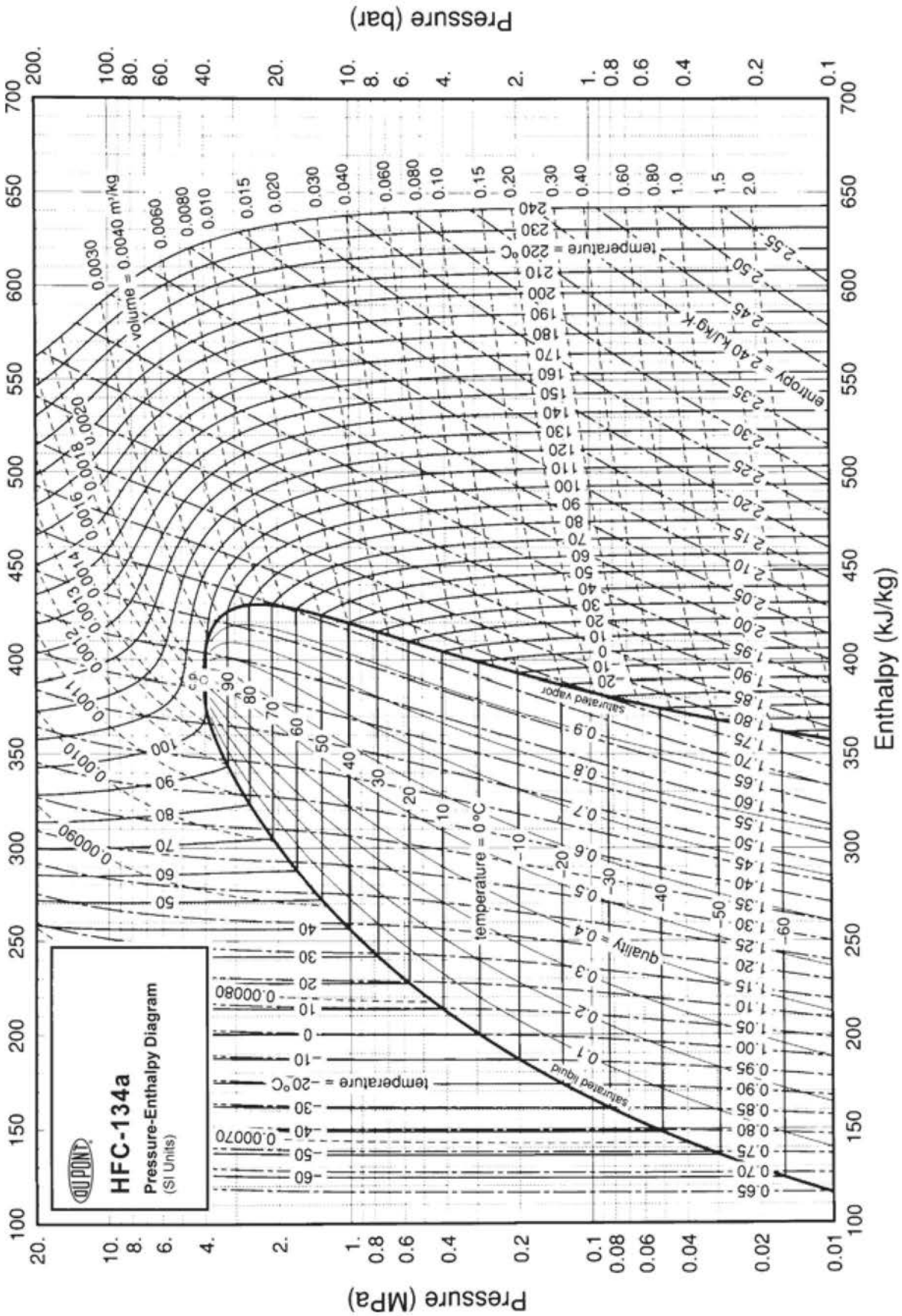


Figura A.2. Diagrama presión-Entalpía del refrigerante R134a

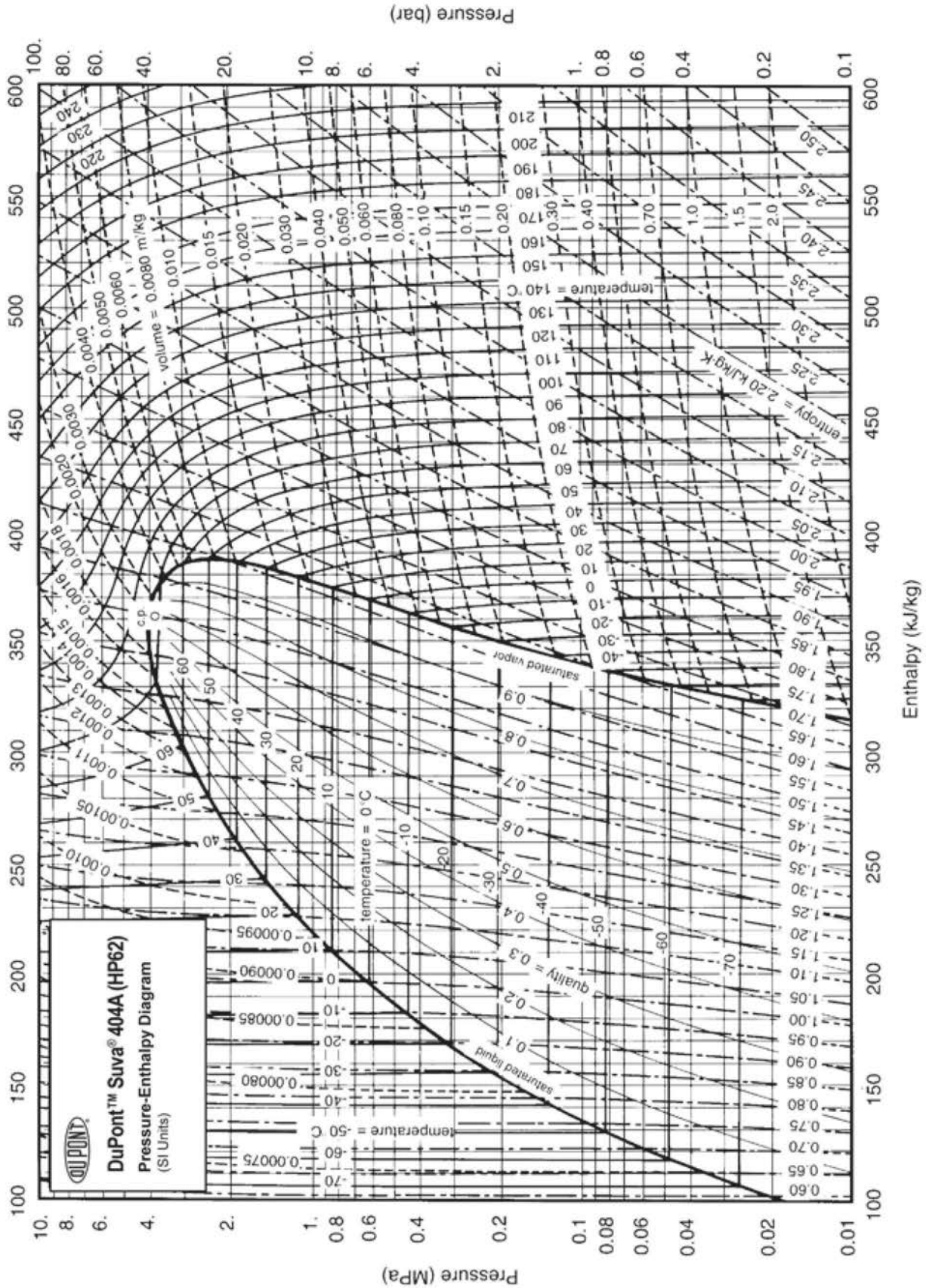


Figura A.3. Diagrama presión-Entalpía del refrigerante R404A

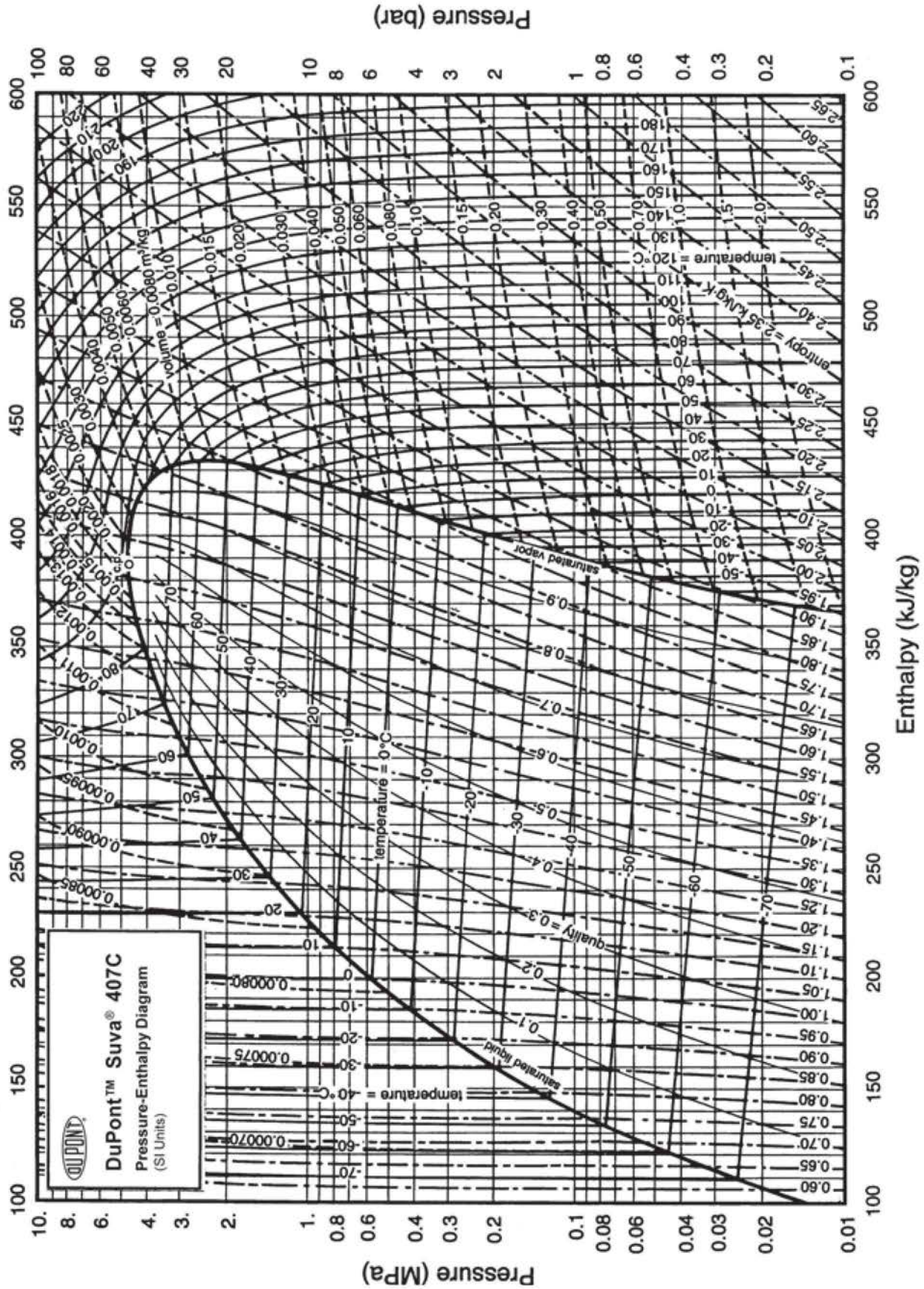


Figura A.4. Diagrama presión-Entalpía del refrigerante R407C





Este texto desarrolla todos los contenidos del módulo profesional de Máquinas y Equipos Térmicos de los Ciclos Formativos de grado medio de Instalaciones Frigoríficas y de Climatización y de Instalaciones de Producción de Calor, de la familia profesional de Instalación y Mantenimiento, además de servir de importante apoyo para los Ciclos de grado superior de Mantenimiento de Instalaciones Térmicas y de Fluidos, y de Eficiencia Energética y Energía Solar Térmica. También es una guía de gran utilidad para todos aquellos profesionales del sector que deseen adquirir o completar conocimientos de esta especialidad.

El libro se compone de 11 Unidades didácticas agrupadas en tres bloques claramente diferenciados. En el primero se abordan conceptos generales de la materia, en el segundo se estudian las instalaciones frigoríficas y de climatización, y en el tercero se afrontan las instalaciones de producción de calor. Además, para el desarrollo de los contenidos se emplea un lenguaje sencillo y se sigue una orientación práctica con el fin de facilitar el entendimiento a través de gráficos, tablas, esquemas, fotografías, actividades y ejemplos de aplicación.

De igual modo, se trata de un texto totalmente actualizado, acorde con la normativa más reciente y las guías, las normas, las disposiciones legales vigentes y los programas informáticos de mayor calado en este campo.

Por ello, este libro es una herramienta totalmente recomendable tanto para los alumnos y los profesores del curso enfocado a las máquinas y los equipos térmicos como para los profesionales del sector que deseen una obra de apoyo y guía.

Cristina Escudero Salas, ingeniera industrial con diploma en Estudios Avanzados en Sistemas de la Ingeniería, actualmente desarrolla su actividad profesional como docente, ha colaborado en la elaboración de distintos currículos y forma parte del comité de expertos para la definición de títulos de formación profesional. Por su parte, Pablo Fernández Iglesias, ingeniero industrial con diploma en Estudios Avanzados en Sistemas de la Ingeniería, cuenta con amplia experiencia en elaboración de proyectos, dimensionamiento de instalaciones de climatización, certificación energética y diseño de instalaciones en el ámbito energético.

**Paraninfo**  
www.paraninfo.es

