

**UF0566: Eficiencia energética en las instalaciones
de climatización en los edificios**

Elaborado por: Silvia Martín Sánchez

Edición: 5.0

EDITORIAL ELEARNING S.L.

ISBN: 978-84-16360-52-9 • Depósito legal: MA 189-2015

No está permitida la reproducción total o parcial de esta obra bajo cualquiera de sus formas gráficas o audiovisuales sin la autorización previa y por escrito de los titulares del depósito legal.

Impreso en España - Printed in Spain

Presentación

Identificación de la unidad formativa:

Bienvenidos a la Unidad Formativa: Eficiencia energética en las instalaciones de calefacción y ACS en los edificios. Esta unidad formativa pertenece al Módulo Formativo: Evaluación de la eficiencia energética de las instalaciones en edificios, que forma parte del certificado de profesionalidad: Eficiencia energética de edificios, de la familia profesional de Energía y Agua.

Presentación de los contenidos:

La finalidad de esta unidad formativa es enseñar al alumno a determinar la eficiencia energética de las instalaciones de climatización en los edificios. Para ello, en primer lugar se introducirán los fundamentos termodinámicos de la refrigeración. A continuación, se profundizará en las características principales de las instalaciones de climatización, las redes de transporte y los equipos terminales de climatización. Posteriormente, se analizarán los procesos de regulación y control de instalaciones de calor y frío y el diseño eficiente de las instalaciones de climatización. Para terminar la unidad, se hará hincapié en el rendimiento y eficiencia energética de los elementos de las instalaciones de climatización.

Objetivos por unidad didáctica:

– Unidad didáctica 1

En esta unidad vas a aprender a:

- Calcular la termodinámica de los ciclos de refrigeración.
- Aplicar la higrometría.
- Realizar el diagrama psicrométrico.

– Unidad didáctica 2

En esta unidad vas a aprender a:

- Definir y clasificar las instalaciones.
- Manejar equipos de generación de calor y frío.
- Conocer los elementos constituyentes de una bomba de calor.

– Unidad didáctica 3

En esta unidad vas a aprender a:

- Realizar el aislamiento térmico de conductos.
- Establecer redes de conductos.
- Conocer los diferentes tipos de compuertas y sus características.

– Unidad didáctica 4

En esta unidad vas a aprender a:

- Conocer las diferentes unidades de tratamiento de aire.
- Diferenciar los tipos de unidades terminales
- Manejar rejillas y difusores.

Presentación

– **Unidad didáctica 5**

En esta unidad vas a aprender a:

- Controlar las instalaciones de climatización.
- Llevar a cabo la variación de frecuencia en ventiladores.
- Aplicar la telegestión.

– **Unidad didáctica 6**

En esta unidad vas a aprender a:

- Garantizar la eficiencia en la generación de frío.
- Conocer las limitaciones en la utilización de la energía convencional.
- Mantener la calidad térmica del ambiente.

– **Unidad didáctica 7**

En esta unidad vas a aprender a:

- Aplicar el rendimiento de generadores de frío.
- Manejar el equipo de recuperación de energía.
- Registrar los consumos.

Índice

UD1. Fundamentos termodinámicos de la refrigeración 11

| | | |
|------|---|----|
| 1.1. | Termodinámica de los ciclos de refrigeración..... | 13 |
| 1.2. | Higrometría | 35 |
| 1.3. | Diagrama psicrométrico | 55 |

UD2. Instalaciones de climatización 71

| | | |
|-------|--|-----|
| 2.1. | Definiciones y clasificación de las instalaciones..... | 73 |
| 2.2. | Partes y elementos constituyentes | 85 |
| 2.3. | Ánálisis funcional | 98 |
| 2.4. | Equipos de generación de calor y frío..... | 101 |
| 2.5. | Elementos constituyentes de una bomba de calor | 120 |
| 2.6. | Grupos autónomos de tratamiento de aire..... | 131 |
| 2.7. | Torres de refrigeración | 135 |
| 2.8. | Depósitos de inercia..... | 137 |
| 2.9. | Equipos de absorción..... | 138 |
| 2.10. | Bombas de calor geotérmicas | 142 |

| | |
|--|------------|
| UD3. Redes de transporte | 151 |
| 3.1. Ventiladores. Tipos y características | 153 |
| 3.1.1. Ventiladores centrífugos | 161 |
| 3.1.2. Ventiladores helicoidales | 164 |
| 3.1.3. Curvas de trabajo | 165 |
| 3.2. Redes de conductos | 171 |
| 3.3. Aislamiento térmico de conductos | 183 |
| 3.4. Compuertas. Tipos y características | 185 |
| | |
| UD4. Equipos terminales de climatización..... | 197 |
| 4.1. Unidades de tratamiento de aire (UTA)..... | 199 |
| 4.2. Unidades terminales | 211 |
| 4.2.1. Fancoils | 212 |
| 4.2.2. Inductores..... | 220 |
| 4.2.3. Techo radiante | 224 |
| 4.3. Rejillas y difusores | 230 |
| 4.3.1. Rejillas | 234 |
| 4.3.2. Difusores | 238 |
| | |
| UD5. Regulación y control de instalaciones de calor y frío .. | 249 |
| 5.1. Control de instalaciones de climatización..... | 251 |
| 5.1.1. Tipos de controladores | 258 |
| 5.1.2. Sensores | 271 |
| 5.1.3. Compuertas de regulación..... | 276 |
| 5.1.4. Variación de frecuencia en ventiladores | 278 |
| 5.2. Telegestión..... | 282 |

UD6. Diseño eficiente de las instalaciones de climatización 299

| | | |
|-------|--|-----|
| 6.1. | Eficiencia en la generación de frío | 301 |
| 6.2. | Eficiencia en la distribución: redes de conductos | 316 |
| 6.3. | Eficiencia en el control de instalaciones | 331 |
| 6.4. | Contabilización de consumos | 351 |
| 6.5. | Enfriamiento gratuito | 358 |
| 6.6. | Recuperación de energía..... | 369 |
| 6.7. | Limitaciones en la utilización de la energía convencional..... | 385 |
| 6.8. | Calidad térmica del ambiente..... | 389 |
| 6.9. | Calidad e higiene del aire interior..... | 404 |
| 6.10. | Calidad del ambiente acústico | 418 |

UD7. Rendimiento y eficiencia energética de los elementos de las instalaciones de climatización 435

| | | |
|--------|--|-----|
| 7.1. | Aparatos de medida | 437 |
| 7.2. | Mediciones energéticas..... | 462 |
| 7.3. | Rendimiento de generadores de frío..... | 474 |
| 7.3.1. | Cálculo del rendimiento: Método directo e indirecto | 476 |
| 7.3.2. | Condiciones de toma de medidas | 506 |
| 7.3.3. | Valores admisibles..... | 508 |
| 7.4. | Rendimiento y eficiencia energética de ventiladores | 514 |
| 7.5. | Rendimiento y eficiencia energética de unidades terminales | 521 |
| 7.6. | Equipo de recuperación de energía..... | 526 |
| 7.6.1. | Tipos de recuperadores y características..... | 527 |
| 7.6.2. | Eficiencia mínima exigida | 529 |
| 7.7. | Registro de consumos | 531 |

| | |
|-----------------|-----|
| Soluciones..... | 547 |
|-----------------|-----|

| | |
|------------|-----|
| Anexo..... | 549 |
|------------|-----|

Área: **energía y agua**

UD1

Fundamentos
termodinámicos de
la refrigeración

UF0566: Eficiencia energética en las instalaciones de climatización en los edificios

- 1.1. Termodinámica de los ciclos de refrigeración
- 1.2. Higrometría
- 1.3. Diagrama psicrométrico

1.1. Termodinámica de los ciclos de refrigeración

Introducción

Los sistemas de refrigeración realizan un intercambio de calor con el medio que los rodea, a través de unos procesos termodinámicos, en los que, además, se produce un intercambio de trabajo. Es decir, el cuerpo que se quiere refrigerar cede calor a otro espacio, que es capaz de recibirllo, reduciendo de esta forma el calor del primer cuerpo.

Las máquinas frigoríficas se encargan de generar calor a partir del consumo de energía mecánica, al contrario que las máquinas térmicas, que generan energía mecánica a partir del consumo de calor.

La refrigeración tiene distintas aplicaciones:

| | | |
|---|--|----------------------------|
| Climatización de espacios y recintos | Conservación de productos alimentarios o medicinales | Procesos industriales |
| Criogénesis para licuar gases y conservación | Motores de combustión interna, para evitar alcanzar altas temperaturas | Maquinarias y herramientas |
| Aparatos electrónicos, para evitar recalentamientos | | |

Existen distintos métodos a través de los cuales se alcanza la refrigeración de un lugar, que serán explicados a lo largo del temario, y entre los que se encuentran la compresión o la absorción de calor, así como la evaporación, fundamento básico de enfriamiento de algo tan simple como un botijo.

En la refrigeración se utiliza una serie de fluidos, llamados refrigerantes, que se encargan de transportar el calor de un espacio a otro.

En este caso, la refrigeración se va aplicar a las instalaciones de climatización de edificios, teniendo en cuenta los criterios de eficiencia energética que se exige a este tipo de instalaciones actualmente, desde normas de referencia y obligado cumplimiento como el Código Técnico de la Edificación, en su sección HE 2.

A la hora de implantar una instalación de climatización no sólo es necesario tener en cuenta el calor que se pretende intercambiar, sino también la humedad relativa que haya en el entorno, pues de ello va a depender que la temperatura de un espacio o recinto descienda en mayor o menor medida.

En esta unidad didáctica se estudiarán los conceptos básicos y leyes de la termodinámica, así como los distintos ciclos termodinámicos que se usan en refrigeración, a fin de entender mejor en qué consiste el proceso de refrigeración. También se hará hincapié en la higrometría o humedad relativa.

Cuando se piensa en la refrigeración es muy común asociar este fenómeno a la producción de frío. Esto no es realmente así, sino que se trata de secuestrar calor de un espacio y enviarlo a otro que sea capaz de admitirlo, consiguiendo de esta forma reducir el calor en el primero. Esto se consigue a través de la termodinámica.



Termodinámica: Es una rama de la física que estudia los estados de equilibrio de los sistemas, es decir, el estado al que todo sistema tiende a alcanzar, independientemente del camino o procesos que lo hayan llevado al estado final.

Dicho esto, la refrigeración se puede alcanzar mediante dos métodos generales:

- **Métodos químicos:** La refrigeración se consigue mediante la adición de sustancias químicas en disolución, como las sales en agua u otros disolventes, que absorben gran cantidad de calor del medio productor, debido a que suelen alcanzar temperaturas por debajo de los -10°C. Este tipo de método se suele emplear en procesos discontinuos (no termodinámicos), cuando se produce un aumento del calor en ciertos momentos del proceso. Suelen emplearse en los laboratorios.

Recipiente refrigerado con nitrógeno líquido



Ejemplo: El nitrógeno líquido es una fuente de refrigeración rápida y simple, cuya acción es directa. El nitrógeno líquido se utiliza en muchas aplicaciones de refrigeración en procesos que están en curso, como el aumento de la capacidad de los fluidos de transferencia de calor o la eliminación del calor en procesos físicos y químicos.

- **Métodos físicos:** Son los métodos más empleados en las máquinas industriales de producción de frío, así como los que se utilizan desde hace ya varios siglos para refrigerar sustancias y espacios. Para ello, se aplican procesos físicos, como la expansión adiabática de un fluido.

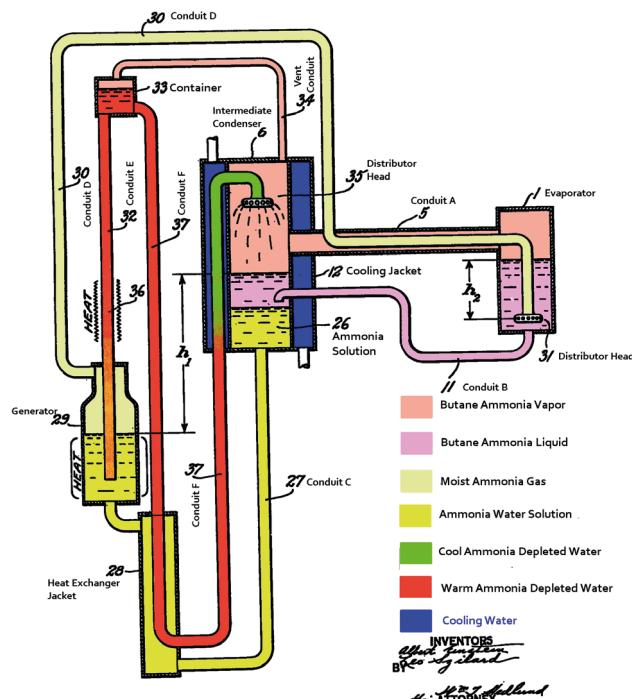
Los sistemas físicos que se usan generalmente para producir la refrigeración de un objeto o recinto son los que aparecen a continuación:

- **Sistemas basados en el cambio de estado de una sustancia**

Se utiliza el calor latente de los distintos procesos de cambio de estado:

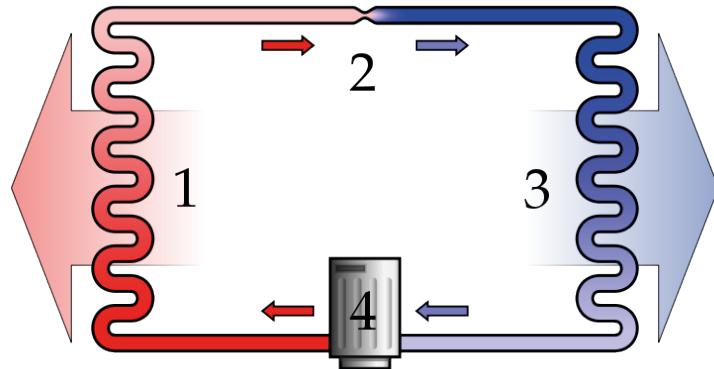
- › **Fusión:** La absorción de calor se lleva a cabo con el paso de una sustancia del estado sólido al líquido. Como ejemplo, se puede nombrar la fusión del hielo que, con el cambio de estado capta calor del entorno.

- › **Vaporización:** La captación de calor se produce con el paso de líquido a vapor, tras haber sido suministrada una determinada cantidad de calor, de dos maneras diferentes:
 - **Vaporización directa o circuito abierto:** El fluido absorbe el calor del objeto o espacio que se quiere enfriar; tras el cambio de estado, no vuelve a utilizarse dicho fluido. Éste es el caso del nitrógeno utilizado en algunos medios de transporte para producir frío.
 - **Círculo cerrado:** El fluido que se evapora se recupera para ser introducido de nuevo en el proceso, formando un ciclo.
- Según el sistema que se utilice para recoger el vapor, las máquinas frigoríficas se clasifican en cuatro tipos:
- › **Máquinas de adsorción:** El vapor es captado a través de una sustancia sólida adsorbente.
 - › **Máquinas de absorción:** El vapor es captado mediante un absorbente líquido.



Refrigeración por absorción

- › **Máquinas de compresión:** El vapor es aspirado y comprimido posteriormente en un compresor, para pasar a ser licuado en un condensador.

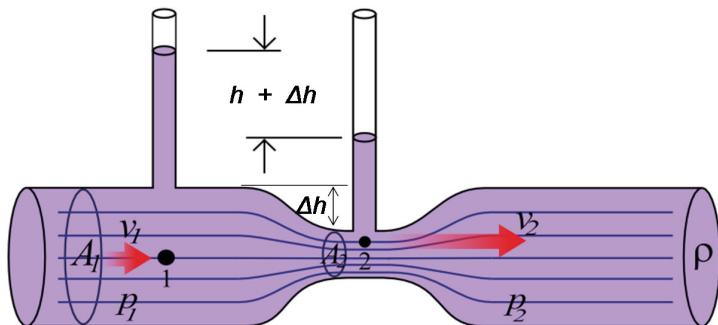


Ciclo de una máquina frigorífica por compresión simple: 1) Condensador, 2) Válvula de expansión, 3) Evaporador, 4) Compresor.

- › **Máquinas de eyección:** El vapor es sustraído por el efecto Venturi que se genera por el paso de otro fluido a alta velocidad.



Efecto Venturi: La velocidad de un fluido en movimiento que se encuentra contenido en un recipiente aumenta al disminuir la presión, tras pasar por una zona con una sección menor a la que contenía el líquido anteriormente, manteniendo un caudal constante. Si en el punto más estrecho se coloca un conducto, se produce una aspiración del fluido hacia este segundo conducto.



Efecto Venturi

- **Sistemas basados en el aumento de temperatura de un fluido**

En este método se utiliza una salmuera que se ha enfriado previamente para captar el calor que se desea sustraer. Esta sustancia no cambia de estado mientras se enfriá ni mientras capta el calor del objeto o espacio a enfriar, por lo que la salmuera incorpora esta energía captada en forma de calor sensible.

- **Sistemas basados en la expansión adiabática de un gas**

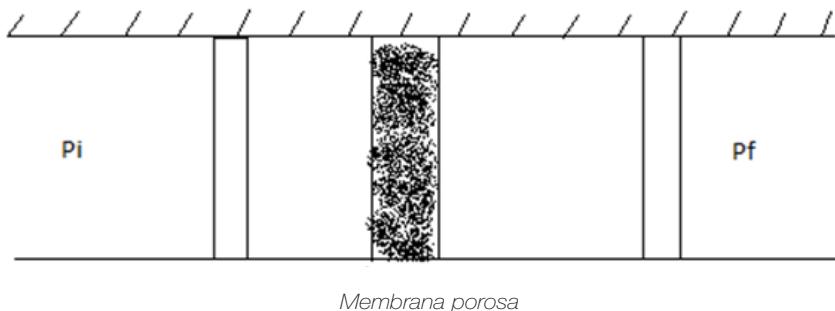
En un proceso adiabático se produce un cambio de temperatura sin que exista intercambio de calor. Por tanto, el sistema realiza un trabajo a cambio de disminuir su temperatura. Las máquinas refrigeradoras de aire expansionan aire comprimido, haciendo que éste se enfrie.

El enfriamiento se consigue mediante la aplicación de dos tipos de procesos:

- › La producción de aire líquido, mediante el efecto Joule-Thomson.



Efecto Joule-Thomson: Este proceso consiste en hacer pasar un gas desde un recipiente con mayor presión a otro con menor presión, ambos a presión constante, a través de un estrangulamiento practicado entre ambos o una pared porosa. Al expandirse adiabáticamente el gas, se produce una variación de temperatura de manera irreversible.



En el esquema se observan dos regiones sometidas a dos presiones diferentes, P_i y P_f , separadas por una membrana porosa, siendo la presión P_i superior a P_f . Si se hace pasar un gas inicialmente a una presión P_i a P_f , con una temperatura inicial T_i , a través de la membrana porosa, descenderá la presión, con el consiguiente descenso de la temperatura.



La temperatura y la presión se relacionan de manera directa, por lo que un aumento de presión implica un aumento de la temperatura, a volumen constante, y viceversa. Esto se comprueba en la Segunda Ley de Gay - Lussac:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Veamos un ejemplo:

$$P_1 = 10 \text{ atm}$$

$$T_1 = 298 \text{ K}$$

$$P_2 = 25 \text{ atm}$$

T_2 tiene que ser mayor que T_1 , pues P_2 guarda esa relación con P_1 . Si despejamos P_2 de la ecuación anterior quedaría:

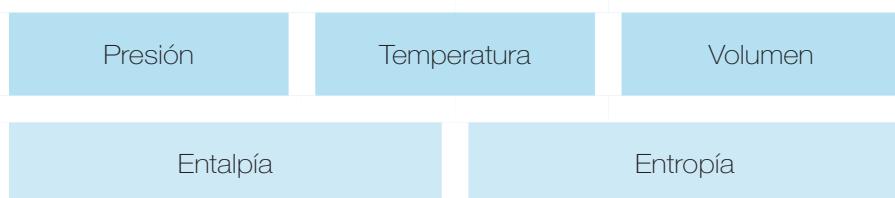
$$T_2 = P_2 \cdot (T_1/P_1) = 25 \text{ atm} \cdot (298 \text{ K}/10) = 745 \text{ K}$$

- › La expansión de aire comprimido, mediante máquinas refrigeradoras de aire.

Mediante la expansión del aire comprimido se consigue disminuir la temperatura de un fluido, debido al cambio de presión experimentado por el fluido. Esto se consigue haciendo pasar el fluido de un estado con mayor presión y temperatura a otro de menor presión. Esta expansión hace que el líquido se evapore parcialmente, disminuyendo la temperatura al absorber calor latente del ambiente en el que se encuentre.

Magnitudes termodinámicas

En los procesos termodinámicos en general, y en los de refrigeración, en particular, se modifica una serie de magnitudes macroscópicas (debido a que se aplican al conjunto de la materia y no al comportamiento individual de las moléculas o átomos que la componen), que se describen a continuación:



- **Presión del fluido refrigerante, líquido o gaseoso:** Su unidad es la atmósfera (atm) o el Pascal (Pa). En el proceso de refrigeración, la presión del líquido refrigerante varía continuamente, pasando éste de estar a mayor presión a encontrarse con menor presión, y viceversa.



1 atmósfera = 101325 pascales.