

UF1026: Caracterización de procesos
e instalaciones frigoríficas

Elaborado por: María Esther Jiménez Lozano

Edición: 5.0

EDITORIAL ELEARNING S.L.

ISBN: 978-84-16492-33-6

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

Bienvenido a la Unidad Formativa UF1026: Caracterización de procesos e instalaciones frigoríficas. Esta Unidad Formativa pertenece al Módulo Formativo MF1167_3: Instalaciones y procesos frigoríficos que forma parte del Certificado de Profesionalidad IMAR0209: Desarrollo de Proyectos de Instalaciones Frigoríficas, de la familia de Instalación y Mantenimiento.

Presentación de los contenidos

La finalidad de esta Unidad Formativa es enseñar al alumno a caracterizar los diagramas y esquemas de principio de instalaciones frigoríficas, a partir de un anteproyecto, especificaciones técnicas y criterios previos de diseño y calidad, aplicando la reglamentación y normativa correspondiente.

Para ello, se analizará la termodinámica y mecánica de fluidos para instalaciones frigoríficas, su clasificación y configuración, las cámaras y productos, y por último, las normas y reglamentos.

Objetivos de la Unidad Formativa

Al finalizar esta Unidad Formativa aprenderás a:

- Caracterizar instalaciones frigoríficas, analizando el funcionamiento de los diferentes subsistemas, relacionando las variables que inciden sobre su funcionamiento con las prestaciones de los mismos.
- Realizar la memoria general de un sistema elegido entre varios anteproyectos de instalaciones frigoríficas, en la que se identifiquen de forma exacta los requisitos a cumplir.
- Determinar los puntos básicos de los ciclos frigoríficos en los diagramas correspondientes y calcular potencias y rendimientos de una instalación frigorífica, caracterizada por los parámetros de funcionamiento, el fluido frigorífico empleado y el producto del proceso.
- Aplicar la normativa vigente para caracterizar instalaciones frigoríficas.

Índice

UD1. Termodinámica y mecánica de fluidos para instalaciones frigoríficas.....	9
1.1. Termotecnia. Transmisión de calor y aislantes.....	11
1.2. Leyes de la Termodinámica	23
1.3. Estudio termodinámico de los ciclos frigoríficos. Refrigerantes	37
1.4. Ciclos frigoríficos en diagramas de Mollier y T-S. Parámetros de funcionamiento	51
1.5. Cálculos de energía y rendimientos	62
1.6. Propiedades de los fluidos: densidad, viscosidad.....	74
1.7. Fluidos en reposo: Leyes de la hidrostática.....	77
1.8. Fluidos en movimiento: Leyes de la Hidrodinámica	84
1.9. Pérdidas de carga en tuberías y conductos: Métodos de cálculo	94
1.10. Generadores de movimiento de fluidos: bombas, ventiladores, compresores.....	101
1.11. Aparatos de medida de presión, caudal y velocidad	115

UD2. Clasificación y configuración de las instalaciones frigoríficas..... 127

- 2.1. Relaciones entre refrigerante utilizado y temperatura del proceso 129
- 2.2. Clasificación de sistemas según la reglamentación industrial 136
- 2.3. Clasificación por el tipo de ciclo frigorífico de compresión y su configuración 139
 - 2.3.1. Una etapa de compresión, uno o varios compresores 143
 - 2.3.2. Dos etapas de compresión, refrigeración intermedia o inyección de líquido..... 145
 - 2.3.3. Máquinas en cascada con dos refrigerantes 148
 - 2.3.4. Ciclos transcíticos con CO₂..... 149
 - 2.3.5. Otros sistemas frigoríficos: absorción, eyección y termoeléctrico 150
- 2.4. Clasificación por tipo de compresor, de condensador, de evaporador y de dispositivo de expansión..... 155
- 2.5. Procesos industriales y sus particularidades..... 164
 - 2.5.1. Ultracongelación de productos 165
 - 2.5.2. Fabricación de nieve carbónica..... 170
 - 2.5.3. Licuefacción del aire y otros gases industriales..... 173
 - 2.5.4. Liofilización..... 174

UD3. Cámaras y productos: características y peculiaridades 185

- 3.1. La conservación de alimentos perecederos y congelados ... 187
- 3.2. Características básicas de los productos alimentarios e industriales 193
- 3.3. Cámaras de conservación y de mantenimiento de congelados 205
- 3.4. Túneles de congelación..... 207
- 3.5. Cámaras de maduración, desverdización, atmósfera controlada y fermentación 209
- 3.6. Maquinaria para procesos específicos 215

UD4. Normas y reglamentos..... 229

- 4.1. Reglamento de instalaciones frigoríficas 231
- 4.2. Reglamento de aparatos a presión 254
- 4.3. Normativa aplicada de Protección contra Incendios..... 255
- 4.4. Reglamentos sanitarios 262

4.5. Directivas europeas sobre gases refrigerantes.....	267
4.6. Estudio de Impacto Medioambiental de las instalaciones	274
4.7. Eficiencia energética de los procesos e instalaciones	291
Glosario	299
Soluciones	303
Anexo	305

Área: instalación y mantenimiento

UD1

Termodinámica y
mecánica de fluidos para
instalaciones frigoríficas

- 1.1. Termotecnia. Transmisión de calor y aislantes
- 1.2. Leyes de la Termodinámica
- 1.3. Estudio termodinámico de los ciclos frigoríficos. Refrigerantes
- 1.4. Ciclos frigoríficos en diagramas de Mollier y T-S. Parámetros de funcionamiento
- 1.5. Cálculos de energía y rendimientos
- 1.6. Propiedades de los fluidos: densidad, viscosidad
- 1.7. Fluidos en reposo: Leyes de la hidrostática
- 1.8. Fluidos en movimiento: Leyes de la Hidrodinámica
- 1.9. Pérdidas de carga en tuberías y conductos: Métodos de cálculo
- 1.10. Generadores de movimiento de fluidos: bombas, ventiladores, compresores
- 1.11. Aparatos de medida de presión, caudal y velocidad

1.1. Termotecnia. Transmisión de calor y aislantes

La Termotecnia es una ciencia aplicada cuyos fundamentos están basados en la Termodinámica o ciencia que estudia la producción y transformación de las distintas formas de energía con distintos objetivos de utilidad.

Podríamos afirmar, por tanto, que la Termotecnia es una ciencia que estudia los procedimientos técnicos para la producción, transformación, transmisión y utilización industrial del calor.

En el siguiente esquema podemos ver algunos de los distintos estudios que se realizan mediante esta ciencia, la Termotecnia:

ESTUDIO	USO
PRODUCCIÓN DE CALOR	Fuentes de energía renovables y no renovables Calderas Instalaciones nucleares
TRANSMISIÓN DE CALOR	Conducción Convección y radiación Aplicaciones de convección y radiación (aislamiento, intercambiadores de calor...)
UTILIZACIÓN DEL CALOR	Motores y turbinas
EN GENERAL	Calefacción de locales Instalaciones de destilación Ventilación y acondicionamiento Instalaciones frigoríficas



Definición

Calor: es una energía en movimiento, de forma que sólo tiene sentido si se está transfiriendo de un sistema o un cuerpo, a otro sistema o cuerpo.

Velocidad de transmisión de calor o flujo de calor a través de una superficie: es la cantidad neta de energía calorífica que atraviesa dicha superficie en unidad de tiempo.

Cuando dos sistemas entran en contacto, el calor se transmite desde el sistema más caliente al menos caliente, y el intercambio de calor entre ambos no termina hasta que la temperatura de éstos se iguala, es decir, hasta que ambos sistemas llegan al equilibrio térmico.

La cantidad de calor que se transfiere entre dos estados de un sistema viene expresada por Q . Por otro lado, q es la transmisión de calor por unidad de masa de un sistema y se calcula:

$$q = Q/m \text{ (kJ/kg)}$$

En algunas ocasiones, nos resulta más útil conocer la cantidad de calor transferida por unidad de tiempo o Q/t .

Para determinar la dirección del flujo de calor, se emplean universalmente los signos positivos y negativos. Es decir, la transferencia de calor hacia un sistema es positiva y desde un sistema es negativa.

Los flujos que aumentan la energía de un sistema se consideran con signo positivo y los que la disminuyan se consideran con signo negativo.

En instalaciones frigoríficas nos interesan dos objetivos fundamentales: el primero, la transferencia de calor entre la parte fría y la parte caliente de una máquina frigorífica, elevada; el segundo, transferir calor entre el espacio que se refrigera y el exterior, baja.

Para lograr dichos objetivos, necesitamos distinguir los procesos que permiten que el calor se transfiera, conocer los coeficientes de transmisión para cada uno de estos procesos y definir el coeficiente global de transmisión que resulta de la coincidencia de los procesos de transferencia de calor.

Para hacer más fácil el estudio de la transmisión del calor desde un cuerpo, se distinguen tres mecanismos básicos de transmisión:



Estos mecanismos suelen presentarse de manera simultánea.

Pero, pasemos a describir cada uno de estos mecanismos:

La conducción

La conducción es la transmisión de calor desde una zona o punto con una determinada temperatura hasta otra zona o punto de menor temperatura. Esta transmisión de calor se puede producir dentro de un mismo cuerpo o también, de un cuerpo a otro, es decir entre dos cuerpos.

La conducción es el resultado del aumento de la energía cinética de las moléculas de una sustancia. Estas moléculas, con su energía cinética o velocidad aumentada, colisionan con las moléculas que se encuentran próximas y éstas a su vez con otras moléculas, por lo que el resultado es la propagación sucesiva del calor en esa sustancia, cuerpo o sistema.

En función de la capacidad que los materiales posean para propagar calor por conducción, podemos encontrar dos grandes grupos:

- **Conductores térmicos:**

Se trata de materiales que no ofrecen resistencia a la propagación del calor. Se trata metales como la plata o el cobre, por ejemplo.

- **Aislantes o calorífugos:**

Se trata de materiales que ofrecen una gran resistencia a la propagación del calor por conducción (los que almacenan aire, como la lana, el corcho, poliestireno, etc.).

Existen otros materiales que propagan el calor, pero de forma escasa, se trata de la madera, el vidrio, materias plásticas y la cerámica. Estos materiales no son aislantes térmicos.

Por tanto, cada cuerpo posee una resistencia a la propagación del calor propia y ha de establecerse para cada uno de ellos, la cantidad de calor que transmiten. Esa cantidad de calor se denomina coeficiente de conductividad térmica.

Se trata de la cantidad de calor que atraviesa en una hora, un metro cuadrado de este cuerpo, con un espesor de un metro y una diferencia de temperatura de un Kelvin o un grado centígrado entre los dos lados del cuerpo. Este coeficiente se expresa como λ y se mide en vatios por metro cuadrado de espesor por kelvin:

$$\lambda = W/m^2 \times K.$$



Uno de los mejores y más utilizados metales para la conducción del calor es el cobre.

La radiación

La radiación es la transmisión de calor que se produce sin necesidad de un cuerpo o agente conductor. Mediante la radiación, el calor se transmite mediante ondas que pueden atravesar espacios vacíos y cuyo alcance depende de la potencia de la fuente calorífica.

Un cuerpo caliente emite calor y este calor es absorbido por otro cuerpo pantalla, que se encuentra a una temperatura más baja. La parte de calor que no absorbe la pantalla, se refleja.

La energía calorífica que emite un cuerpo depende de su temperatura y del estado de su superficie exterior, y se corresponde con la siguiente expresión

$$Q = R \times T^4$$

Siendo R una constante del cuerpo emisor que depende del estado de la superficie del mismo. Alcanza un valor máximo de $5'675 \times 10^{-8} W/(m^2 \times K^4)$. El cuerpo que emite esta radiación se denomina cuerpo negro.

La radiación que se emite por superficies reales es menor que la radiación que emite un cuerpo negro a la misma temperatura:

$$Q = e \times R \times T^4$$

Siendo e la emisividad de la superficie. Su valor se sitúa entre $0 \leq e \leq 1$. Se trata de una propiedad que nos muestra el acercamiento de una superficie a un cuerpo negro.

Otra de las propiedades importantes de la radiación de una superficie es su absorbencia. La absorbencia nos muestra la porción de energía de radiación que absorbe dicha superficie. Los valores de la absorbencia también se sitúan entre $0 \leq a \leq 1$.

El acabado y el color de la superficie de los materiales son importantes para los efectos de la radiación: si la superficie es lisa y el color es claro, los rayos de calor se reflejan. Por el contrario, si la superficie cuenta con rugosidades y es de un color oscuro, entonces los rayos caloríficos se absorben.



Un cuerpo negro es un emisor de calor perfecto y también un absorbedor perfecto, por lo que $\alpha = 1$.

La convección

El calor se transfiere por convección debido a la diferencia de densidad de los gases y los líquidos. Cuando un gas o líquido se calientan, pierden densidad, por lo que suben. Sin embargo, cuando éstos se enfrían, tienden a bajar, ya que aumentan su densidad o peso específico. Se forma entonces un ciclo permanente, que tiende a subir el gas o el líquido cuando está situado cerca de una fuente de calor y, tiende a bajar cuando se aleja de ésta. Cuando la fuente calorífica se suspende, se igualan sus temperaturas, sus densidades y desaparece el citado ciclo.

Encontramos dos tipos de movimientos de convección:

- Naturales
- Forzados

De manera que distinguimos entre:

- **Convección natural:**

Se produce por ejemplo, en una instalación convencional de radiadores.

- **Convección forzada:**

Se da con la utilización de ventilo-convectores, ya que forzamos corrientes de aire con ventiladores previos a una batería de agua haciendo que el aire alcance la temperatura cedida por las baterías.

El flujo de calor que se transmite por convección entre un cuerpo sólido y el cuerpo fluido que lo rodea depende de diversos factores, lo que nos conduce a unas leyes de transmisión del calor por convección que resultan muy complicadas.

Los factores de los que depende el flujo de calor que se transmite por convección entre un sólido y un fluido son:

Hasta aquí, hemos descrito los tres mecanismos básicos de transmisión de calor, vamos a definir ahora el frío y el aislamiento, además de los materiales que se utilizan como aislantes.

Frío

El frío supone la retirada de calor, de manera parcial o total. Esta retirada de calor produce frío, por lo que se puede deducir que el frío no es energía, sino ausencia de energía calorífica. El frío se produce por tanto, cuando retiramos el calor a un cuerpo o a un espacio.

Los materiales aislantes

Los materiales que se utilizan como aislantes reducen la velocidad de transmisión de calor, de forma que el sistema de refrigeración expulsa el calor con una rapidez mayor que la rapidez que le cuesta entrar de nuevo al sistema.

Un aislante de calor ideal evitaría la transferencia de calor en sus tres formas: conducción, radiación y convección. Nos encontramos con las siguientes si-

tuaciones que afectan al aislamiento de calor, dependiendo de su forma de transmisión, y los materiales aislantes que se utilizan.

Aislamiento de calor por conducción

Materiales con factor de conductividad bajo

Aislamiento de calor por radiación

Superficies planas, de colores claros y brillantes para que reflejen las ondas de energía radiante. Cuanto más refleje el material, menor calor absorberá

Aislamiento de calor por convección

Superficies planas, de colores claros y brillantes para que reflejen las ondas de energía radiante. Cuanto más refleje el material, menor calor absorberá



Los materiales aislantes que se utilizan en la industria frigorífica están constituidos con frecuencia por numerosas celdillas que contienen aire u otros gases en reposo en su interior, lo que produce una conductividad térmica pequeña. El uso de estos materiales resulta fundamental en las instalaciones frigoríficas, ya que limitan de manera considerable la entrada de calor y reducen los costes de instalación y funcionamiento de las mismas.

Las características generales de los materiales aislantes están especificadas en la norma UNE 100171:1989 IN (informe). Según dicha norma: los materiales aislantes se identifican en base a las características de conductividad térmica, densidad aparente, permeabilidad al vapor de agua, absorción de agua por volumen o peso, propiedades de resistencia mecánica a compresión y flexión, módulo de elasticidad, envejecimiento ante la presencia de humedad, calor y radiaciones, coeficiente de dilatación térmica y comportamiento frente a parásitos, agentes químicos y fuego.

Según esta norma, los distintos materiales aislantes se subdividen en las siguientes clases:

- **MIF:** Materiales Inorgánicos Fibrosos (lana de roca, fibra de vidrio, amianto), para aplicaciones desde 0 °C hasta 650 °C, según el material.
 - MIF-f flexibles, en forma de fieltros o mantas:
 - MIF-s semirrígidos, en forma de planchas.
 - MIF-r rígidos, en forma de planchas o coquillas.
- **MIC** = Materiales Inorgánicos Celulares (vidrio celular), para aplicaciones desde - 50 °C hasta 100 °C, en planchas rígidas.
- **MIG** = Materiales Inorgánicos Granulares (perlita, vermiculita, silicato cálcico).
 - MIG-b para aplicaciones de baja temperatura, de 40 a 100 °C (perlita, vermiculita)
 - MIG-a para aplicaciones de alta temperatura, hasta 800 °C (silicato cálcico).
- **MOC:** Materiales Orgánicos Celulares (corcho, poliestireno, poliuretano, espumas elastoméricas y fenólicas), para aplicaciones desde - 50 °C hasta 100 °C.
- **MRL** = Materiales Reflectantes en Láminas enrollables (aluminio, acero, cobre).

Por otra parte, la norma indica que el uso de material aislante a granel, en forma de borra o burletes, estará limitado a casos específicos, que deberán estar expresamente autorizados.

Algunos de los materiales aislantes que se utilizan generalmente en el aislamiento térmico de cámaras frigoríficas son los siguientes:

– **Corcho:**

El corcho que se utiliza puede ser aglomerado ($k = 0'039 \text{ W/ (m } ^\circ\text{C)}$), expandido ($k = 0'036 \text{ W/ (m } ^\circ\text{C)}$) o en tableros ($k = 0'042 \text{ W/ (m } ^\circ\text{C)}$).

Se trata del material que más se ha utilizado a lo largo del tiempo, pues de instalarse correctamente, se conserva durante periodos de tiempo prolongados.

El corcho cuenta con una buena resistencia mecánica y resulta adecuado para aislar suelos de cámaras frigoríficas.

– **Poliestireno expandido ($k = 0'03 \text{ a } 0'057 \text{ W/ (m } ^\circ\text{C)}$).**

Se trata del material sintético más moderno, más económico y con mayor facilidad de montaje. Es uno de los materiales aislantes más utilizados en instalaciones frigoríficas. No se recomienda su utilización para el aislamiento de suelos, ya que su resistencia mecánica es baja.

El poliestireno expandido suele presentarse en paneles con medidas de $1,20 \times 0,60 \text{ m}$ y con espesores que oscilan entre 60, 120 o 140 mm.

– **Espuma de poliuretano ($k = 0'023 \text{ W/ (m } ^\circ\text{C)}$ para la mayoría de los tipos).**

Se trata de un material sintético de bajo coste y cuyo manejo es fácil. Puede obtenerse como espuma rígida o poliuretano conformado, o también como espuma para aplicarse en el momento.

Actualmente, los paneles prefabricados de espuma de poliuretano son más económicos y requieren menos mano de obra para su colocación. Se suele aplicar exclusivamente con temperaturas entre $-30 \text{ } ^\circ\text{C}$ y $70 \text{ } ^\circ\text{C}$, por lo que no puede utilizarse en túneles de congelación con temperaturas muy bajas ni tampoco en tuberías de vapor.

– **Espuma sólida de vidrio (foamglas) o vidrio celular ($k = 0'044 \text{ W/ (m } ^\circ\text{C)}$)**

Esta espuma podemos encontrarla en unidades rígidas que se pueden utilizar como elementos resistentes y de cerramiento y que además, pueden aplicarse en suelos.

– **Fibra de vidrio, lana de vidrio o lana mineral:**

Su aplicación está limitada a temperaturas superiores a 0 °C. Existen distintos tipos, según sea su densidad (semirrígida o rígida), con conductividades, que oscilan entre 0'033 W/(m °C) y 0'044 W/(m °C).

– **Espuma rígida de poliestireno extrusionado, con conductividad 0'033 W/(m °C):**

Se comercializa en paneles de 1'25 m por 0'60 m y espesores de 30 mm, 40 mm y 50 mm, mecanizados a media madera a suprimir el puente térmico que se produce cuando se unen unos con otros.

Transmisión de calor

Dependiendo del material o de los materiales aislantes que se utilicen, puede calcularse la transmisión de calor entre el exterior y el interior de la cámara frigorífica, partiendo de la siguiente expresión:

$$Q = Q/t = U A \Delta T$$

Siendo U es el coeficiente global de transmisión.

En el cálculo anterior suele excluirse la carga por convección a ambos lados de la cámara y el aislamiento producido por los materiales de construcción externos a la cámara frigorífica.

La aportación de los materiales de construcción externos a la cámara al valor de U es pequeña y la rebaja realizada permite calcular con un margen mayor de seguridad, pues estamos suponiendo una transmisión de calor mayor que la existente realmente.

Barrera antivapor

Para que una cámara frigorífica sea eficaz es necesario que permanezca seca, por lo que otro aspecto a tener en cuenta es la colocación de barreras antivapor o material que reduzca la transferencia de vapor en las instalaciones de refrigeración.

Cuando se produce una bajada excesiva de la temperatura, el agua existente en el aire se condensa (una vez que se alcance la temperatura de rocío), por lo que se ha de evitar que el vapor entre al interior de la cámara mediante la colocación, en su parte externa, de pantallas que impidan la entrada del vapor.