

TEMA 7: FUNDAMENTOS DE REFRIGERACIÓN

0. Introducción.

1. Refrigeración. Conceptos generales.

1.1. Métodos de refrigeración.

2. Cálculo de cámaras frigoríficas

3. Cálculo de cargas en refrigeración.

3.1. Pérdidas por transmisión.

3.2. Enfriamiento y/o congelación de productos.

3.3. Conservación de productos.

3.4. Pérdidas por renovación de aire

3.5. Otras cargas térmicas.

3.6. Carga total.

• *Objetivos específicos:*

- Introducir brevemente los principales conceptos relacionados con la refrigeración.
- Conocer los métodos básicos de refrigeración.
- Conocer la finalidad y el funcionamiento de los componentes básicos de las instalaciones de refrigeración por compresión mecánica y por absorción.
- Aplicar los conceptos y ecuaciones introducidos en temas anteriores en cálculos de refrigeración.
- Conocer y aplicar los cálculos básicos necesarios para diseñar cámaras frigoríficas.
- Conocer las diferentes cargas térmicas que influyen en la refrigeración de alimentos.
- Calcular dichas cargas en función de tablas y diagramas.
- Estimar la carga total de refrigeración y la potencia total de los equipos frigoríficos necesarios.

• *Bibliografía recomendada:*

- García-Vaquero ; “Edificios industriales agrarios”. Cap. 6.
- Maestre, Melgarejo y otros ; “Nuevo curso de ingeniería del frío”, Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Murcia, Ed. A. Madrid-Vicente (1993).
- Sánchez ; “Ingeniería de las instalaciones térmicas agroindustriales”. Caps. 1, 2, 9, 10 y 11.

0. Introducción.

La temperatura es un factor importante en el mantenimiento de la calidad de los alimentos, así como del confort de personas y animales. En este tema nos referiremos a la conservación de alimentos en cámaras de refrigeración, indicando cuáles son las posibles ganancias o pérdidas de calor (cargas térmicas) que se producen en las mismas.

El descenso de la temperatura en los alimentos hace que disminuya la velocidad de las reacciones que producen su deterioro. En un principio se lograban estas bajas temperaturas mediante el uso del hielo. Los chinos fueron los primeros en recolectar y almacenar hielo, empacándolo en paja o hierba seca, para utilizarla en verano. El hielo natural y la nieve fueron los únicos medios de refrigeración durante muchos años. Los antiguos egipcios descubrieron que la vaporización podía causar enfriamiento, así aprendieron a colocar su vino y otros líquidos dentro de recipientes de barro colocándolos en los techos durante las noches, de tal manera que las brisas frías causaban evaporación y enfriaban el contenido. Posteriormente se desarrollaron métodos para preservar comida y bebidas con hielo y nieve guardándolos en edificios de almacenamiento en los cuales podían guardar el hielo recolectado durante el invierno. A finales del siglo XIX el hielo fue un importante producto de comercio con países que no producían hielo natural. En la década de 1900 se desarrolló la refrigeración industrial mediante el uso de compresores mecánicos. Finalmente y con el crecimiento de la industria eléctrica, los refrigeradores domésticos se desarrollaron sustituyendo las cajas de hielo, que requerían un bloque de hielo diariamente.

En este tema sólo nos referiremos brevemente a los distintos sistemas de producción de frío, centrandó nuestra atención en la conservación y congelación de alimentos y productos hortofrutícolas. Para ello será necesario conocer las propiedades que influyen en el proceso (temperaturas de conservación, humedad relativa, calor específico, transpiración, etc.), que encontraremos en las correspondientes tablas.

1. Refrigeración. Conceptos generales.

• Refrigeración:

Producción o mantenimiento en un medio de una temperatura inferior a la temperatura ambiente.

• Aplicaciones

La refrigeración puede utilizarse para tres fines, principalmente:

- Refrigeración para CONSERVACIÓN.
- Refrigeración para CONGELACIÓN.
- Refrigeración para CLIMATIZACIÓN.

Las dos primeras se aplican generalmente a alimentos, mientras que la última se refiere a la refrigeración de locales o vehículos para animales, personas o plantas. Esta última será estudiada en el tema de climatización.

Además de las aplicaciones más conocidas, tales como el acondicionamiento de aire para comodidad, así como el proceso de congelación, almacenamiento, transporte y exhibición de productos, se usa actualmente en el proceso de manufacturas de casi todos los artículos que se encuentran en el mercado. Por ejemplo la refrigeración ha hecho posible la producción de plástico, hule sintético y muchos otros materiales. Gracias a la refrigeración mecánica las fábricas textiles y de papel pueden acelerar sus máquinas obteniendo mayor producción y se dispone de mejores métodos para el endurecimiento de los aceros para las máquinas y herramientas.

Por conveniencia en el estudio, las aplicaciones de refrigeración se pueden agrupar en las siguientes categorías:

a) REFRIGERACIÓN DOMÉSTICA.

Tiene un campo de aplicación relativamente limitada y trata principalmente de refrigeradores y congeladores domésticos. Sin embargo, debido a la cantidad de unidades en servicio, la refrigeración doméstica representa una porción muy significativa de la industria de la refrigeración.

Las unidades domésticas son generalmente de tamaño pequeño, con potencias entre 40 W y 400 W.

b) REFRIGERACIÓN COMERCIAL.

Trata del diseño, instalación y mantenimiento de aparatos de refrigeración del tipo usado por almacenes y tiendas, restaurantes, hoteles e instituciones, para el almacenaje, exhibición, procesado y expedición de artículos de todos los tipos que estén sujetos a deterioro.

c) REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL.

Se confunde frecuentemente con la refrigeración comercial ya que la división de las dos áreas no se ha definido claramente. Por regla general, las aplicaciones industriales son de mayor tamaño y tienen la característica de requerir un operario para su atención. Entre las aplicaciones industriales típicas se encuentran: plantas de hielo, plantas empacadoras de alimentos (carne, pescado, aves, alimentos congelados, etc.), cervecerías, cremerías y plantas industriales tales como: refinerías de aceite, plantas químicas, plantas de hule, etc.

d) REFRIGERACIÓN MARINA Y DE TRANSPORTE:

Las aplicaciones que caen dentro de esta categoría, se pueden clasificar particularmente bajo refrigeración comercial e industrial. Sin embargo ambas áreas han crecido lo suficientemente para requerir mención especial.

La refrigeración marina se refiere a refrigeración a bordo de barcos e incluye por ejemplo, refrigeración para botes de pesca y embarcaciones de transporte y de cargamento sujeto a deterioro, así como refrigeración de los almacenes del barco, en toda clase de embarcaciones.

La refrigeración de transporte se refiere a los equipos aplicados a transportes de cargas y pasajeros.

e) ACONDICIONAMIENTO DE AIRE:

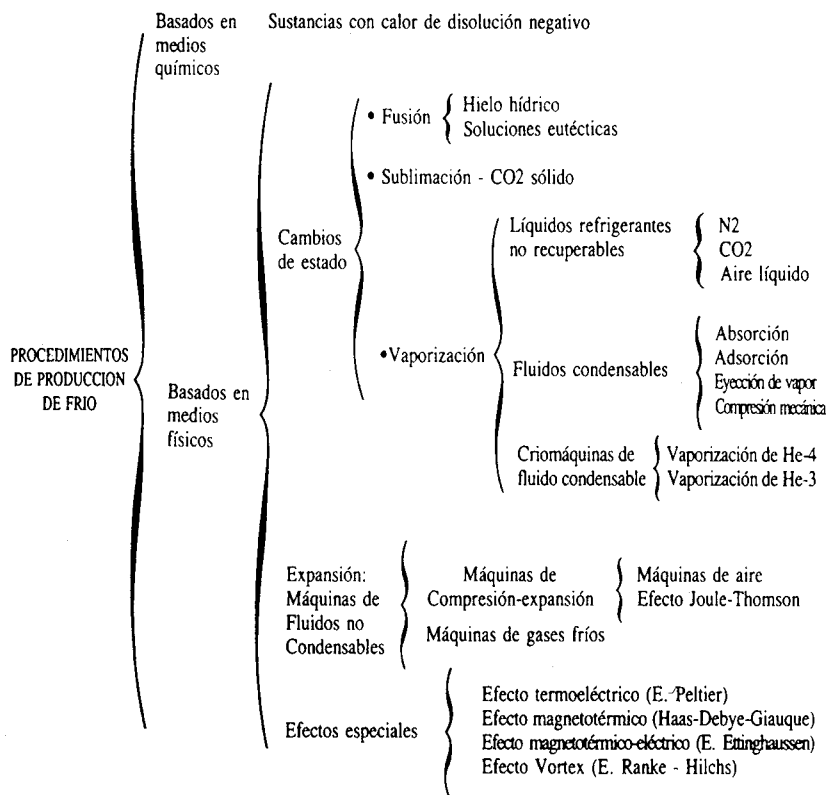
Generalmente involucra el control no solamente de la temperatura del espacio sino también de la humedad y movimiento del aire dentro mismo, así como el filtrado y limpieza del mismo (Climatización).

f) CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS.

La conservación de artículos sujetos a deterioro, particularmente alimentos, es una de las aplicaciones mas comunes de la refrigeración.

La conservación de alimentos es más importante en la historia del hombre. Las poblaciones urbanas requieren grandes cantidades de alimentos que, en su mayor parte deben ser producidas y procesadas en áreas distintas. Naturalmente, estos alimentos deben conservarse en condiciones de conservación durante el transporte y almacenaje subsecuente hasta que finalmente se consuman. Esto puede ser cuestión de horas, días, meses y en ocasiones años. Por ejemplo, la frutas y legumbres que solamente se producen en ciertas estaciones del año deben almacenarse y conservarse para poder ser consumidas durante todo el año.

1.1. Métodos de refrigeración.



De los métodos anteriores, los más utilizados son los que se basan en la vaporización de fluidos condensables que se recuperan. Estudiaremos a continuación los fundamentos de la refrigeración por compresión mecánica y por absorción.

• Refrigeración por compresión mecánica.

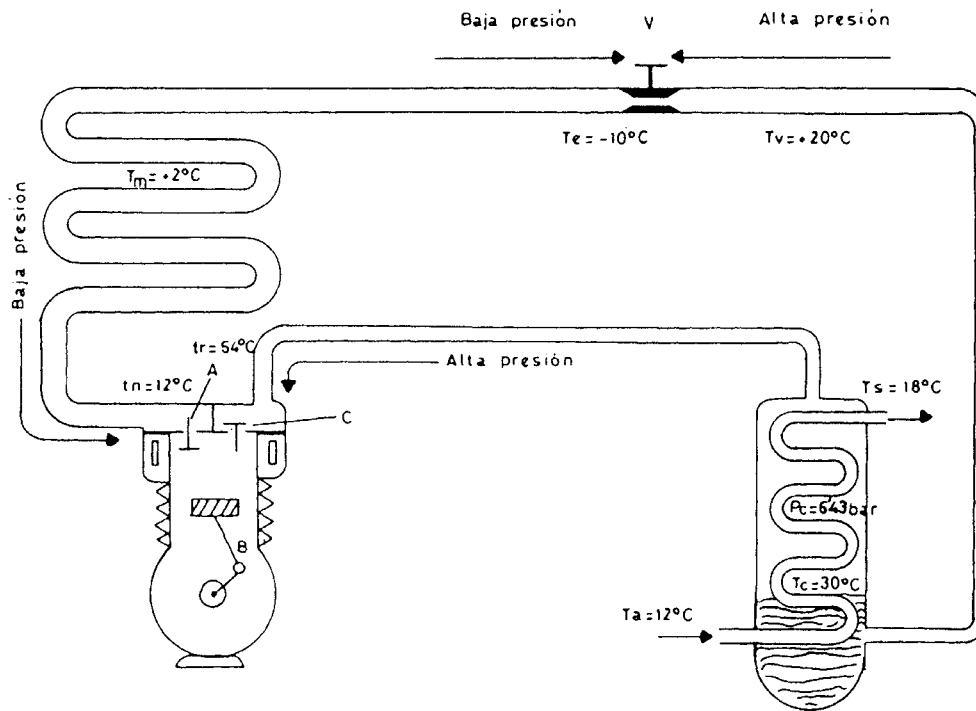
En la actualidad el frío se produce principalmente mediante sistemas de refrigeración por compresión mecánica, de forma que el calor se transmite desde la cámara de refrigeración hasta una zona en la que pueda eliminarse más fácilmente. La transferencia de calor se realiza mediante un fluido “refrigerante” que cambia de estado, de líquido a vapor, a una temperatura de ebullición muy baja y con una entalpía o calor latente de vaporización alto. Una vez que el refrigerante está en estado de vapor se comprime mecánicamente (aumentando su presión) de forma que vuelve al estado líquido y vuelve a utilizarse cíclicamente. Se establece así un ciclo termodinámico cuyo límite teórico sería el ciclo de Carnot (Tema 1). El sistema de refrigeración se denomina entonces como sistema de compresión de vapor.

- Refrigerantes.

Existe una amplia gama de **refrigerantes** comerciales que pueden utilizarse en los sistemas de compresión de vapor. La elección de uno de ellos dependerá de sus características, de las temperaturas de trabajo previstas, de su posible influencia en el medio ambiente, etc. En cualquier caso, será necesario conocer sus propiedades termodinámicas y habrá que disponer de tablas o diagramas similares a los utilizados en el caso del agua. Algunos de éstos refrigerantes son el Freón, el Amoníaco y los clorofluorocarbonos (CFC), actualmente sustituidos por los hidrofluorocarbonos

(HFC) e hidroclorofluorocarbonos (HCFC), y se denominan como R-12, R-717, etc. En este tema, sin embargo, no entraremos en el estudio de los refrigerantes ni de los sistemas de refrigeración.

- Componentes básicos de la instalación frigorífica por compresión mecánica.



ORGANO	FENOMENO SIMPLE QUE EN ÉL SE DESARROLLA	FUNCION PRINCIPAL DESARROLLADA
Evaporador	<ul style="list-style-type: none"> —Ebullición —Transformación del vapor saturado húmedo en vapor saturado seco, hacia el final del evaporador. 	<ul style="list-style-type: none"> —Hacer absorber al fluido refrigerante el calor del medio a refrigerar.
Compresor	<ul style="list-style-type: none"> —Compresión del gas 	<ul style="list-style-type: none"> —Recuperar el fluido —Llevar al gas, por compresión, a un estado tal que se le pueda quitar el calor absorbido, por medio de un fluido frío.
Condensador	<ul style="list-style-type: none"> —Condensación o licuación. —Enfriar el líquido obtenido de la condensación. 	<ul style="list-style-type: none"> —Llevar el gas al estado líquido quitándole calor y evacuar éste por medio de un fluido frío (agua o aire).
Válvula de Regulación	<ul style="list-style-type: none"> —Laminación o pulverización. 	<ul style="list-style-type: none"> —Dejar pasar exactamente la cantidad de líquido, correspondiente al volumen de vapor que es capaz de aspirar el compresor.

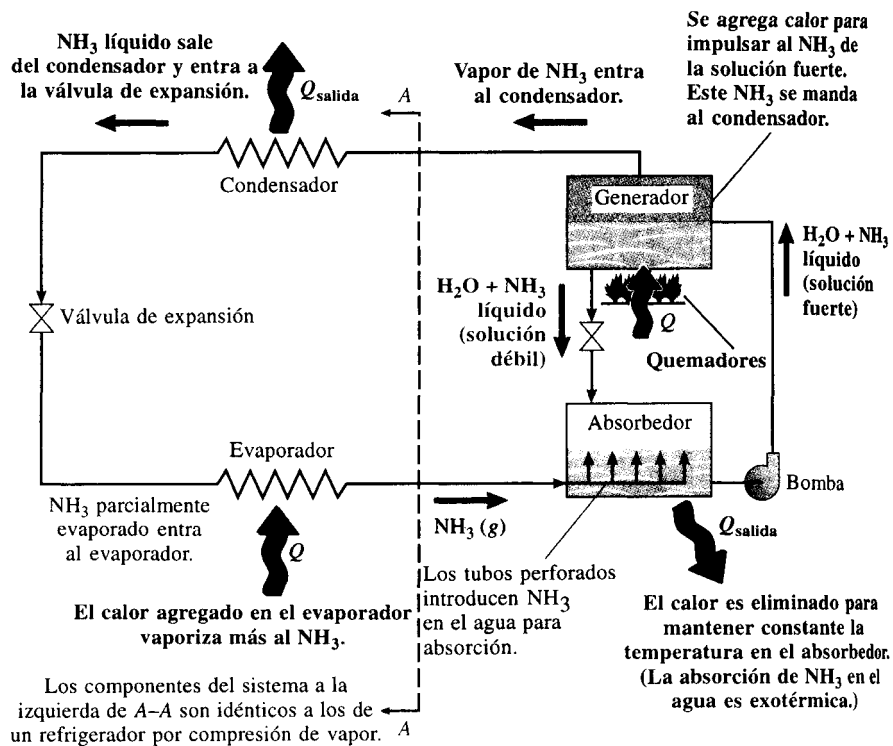
• **Refrigeración por absorción.**

Otro método que se está implantando es el de refrigeración por absorción. Se trata, en realidad, de un proceso bien conocido. De hecho la primera máquina de refrigeración, patentada en 1834 por J. Perkins, consistía en una máquina de absorción que utilizaba éter.

La idea básica de la refrigeración por absorción consiste en sustituir la compresión mecánica del vapor por una absorción de éste en una disolución.

Una de las ventajas de éste método es que el coste energético es mucho menor. Para liberar el vapor de la disolución comprimida debe suministrarse calor. Esto hace posible el que, por ejemplo, se utilice la energía solar como energía primaria (se consigue ENFRIAR a partir del CALOR del Sol). En cambio, el rendimiento es inferior al conseguido mediante el método de compresión.

Desde el punto de vista práctico, el conjunto formado por el evaporador, el condensador y la válvula de expansión se mantiene igual que en la máquina de compresión. La única diferencia está en la sustitución del compresor por un sistema absorbedor-generator, cuyos componentes básicos se muestran en la figura. En el generador, que suele ser una columna de destilación, existe una mezcla líquida formada por un líquido absorbente y un vapor refrigerante disuelto en él. Preferiblemente dichos fluidos deben tener temperaturas de ebullición diferentes. Como mezclas de trabajo refrigerante-absorbente se suele utilizar comercialmente amoníaco-agua o bromuro de litio-agua. La primera mezcla se utiliza para temperaturas de evaporación inferiores a 0 °C, y la segunda para temperaturas superiores. En este segundo caso la instalación cambia ligeramente de diseño.



Cuando se suministra calor en el generador se producen vapores de ambos fluidos (destilación). Dichos vapores son adecuadamente separados. Así el vapor refrigerante, a alta presión y temperatura, pasa al condensador donde se enfría y pasa a estado líquido. Mediante una válvula se disminuye su presión, y pasa al evaporador donde se vaporiza y extrae calor del medio a refrigerar. El vapor pasa al absorbedor, donde es absorbido por una gran cantidad de líquido absorbente existente en el mismo, que procede del generador mediante una válvula que disminuye su presión. Este aporte de vapor hace que la mezcla líquido-vapor se caliente, y debe ser refrigerada mediante una corriente de agua fría. La mezcla enfriada es enviada de nuevo al generador mediante una bomba, donde vuelve a ser destilada.

2. Cálculo de cámaras frigoríficas.

Además de los cálculos puramente constructivos, el proyecto de una cámara o un almacén frigorífico requiere:

- Cálculo de las dimensiones en función de la capacidad de almacenamiento previsto y del tipo de producto a conservar.
- Determinación del espesor de aislamiento necesario, en función de las temperaturas externa e interna, así como del material aislante elegido.
- Cálculo de las necesidades frigoríficas, según sean las pérdidas y ganancias (cargas) de calor.
- Elección del equipo más adecuado.

En este apartado nos referiremos a los dos primeros, mientras que el tercer apartado lo abordaremos en el apartado 3. La elección del equipo debe correr a cargo de los especialistas en instalaciones frigoríficas.

• Dimensiones.

El volumen que debe tener un almacén o cámara frigorífica dependerá de la cantidad y del tipo de producto que debe conservarse. Si es necesario, el espacio podrá dividirse en varias cámaras independientes.

En la Tabla 7.1 se dan algunos datos orientativos de la capacidad de almacenamiento (o densidades de estiba) de distintos productos por cada metro cúbico de volumen. Las cifras dadas se refieren al volumen total de la cámara e incluyen pasillos y otros espacios libres habituales. Una vez obtenido el volumen, se pueden proyectar cámaras distintas con las que alcanzar dicho espacio de la forma que sea más conveniente para el funcionamiento del almacén.

• Materiales aislantes.

Los materiales aislantes utilizados en la industria frigorífica suelen estar constituidos por multitud de celdillas o células que contienen en su interior aire u otros gases en reposo, dando lugar a una conductividad térmica muy pequeña.

La utilización de estos materiales es esencial en las instalaciones frigoríficas, limitando considerablemente la entrada de calor y reduciendo 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 la 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”.

En particular, algunos de los materiales aislantes que se utilizan generalmente en el aislamiento térmico de cámaras frigoríficas son los siguientes:

- **Corcho**, bien sea en aglomerado ($k = 0'039 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$), expandido ($k = 0'036 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$) o en tableros ($k = 0'042 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$). Es el material más tradicional ya que, si se instala adecuadamente, se conserva bien durante largo tiempo. Tiene una buena resistencia mecánica, siendo adecuado para el aislamiento de suelos de cámaras frigoríficas.
- **Poliestireno expandido** ($k = 0'03$ a $0'057 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$). Material sintético más moderno, más económico y de montaje más simple, es uno de los más utilizados en instalaciones frigoríficas. No debe utilizarse en el aislamiento de suelos, debido a su baja resistencia mecánica. Se suelen presentar en paneles de 1.20 x 0.60 m con espesores de 60, 120 o 140 mm, siendo los de 120 mm los más comunes.
- **Espuma de poliuretano** ($k = 0'023 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$ para la mayoría de los tipos). Material sintético económico y de fácil manejo. Puede obtenerse como espuma rígida (poliuretano conformado) o aplicarse en el momento (poliuretano aplicado in situ). Este último método ha sido muy utilizado, ya que la expansión puede realizarse en el interior del molde que se desea aislar. En la actualidad, los paneles prefabricados resultan más baratos y requieren menos mano de obra a la hora de colocarlos. Suele aplicarse únicamente en el intervalo de temperaturas entre -30 °C y 70 °C, por lo que no puede utilizarse en túneles de congelación con temperaturas muy bajas ni, por ejemplo, en tuberías de vapor.
- **Espuma sólida de vidrio** (foamglas) o **vidrio celular** ($k = 0'044 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$). Se presenta en bloques rígidos que permiten su utilización como elementos resistentes y de cerramiento, pudiendo ser utilizado en suelos y superficies cargadas. Esto abarata la obra civil de la cámara, ya que sustituye a los materiales tradicionales más su correspondiente aislamiento.
- **Fibra de vidrio, lana de vidrio o lana mineral**, cuya aplicación se limita a temperaturas superiores a 0 °C. Se distinguen hasta seis tipos, dependiendo de su densidad (desde semirrígidos hasta rígidos), con conductividades entre $0'033 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$ y $0'044 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$ (tabla 4.2). Si no se especifica el tipo, se toma un valor medio de conductividad de $0'035 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$ (tabla 13).

- **Espesor de aislamiento.**

El cálculo del espesor que tiene que tener la capa de aislante tiene una cierta importancia práctica. Así, si la cámara se aísla deficientemente será necesario invertir en mejores equipos frigoríficos y aumentarán los gastos energéticos. Por el contrario, si se aísla en exceso los equipos de refrigeración y el consumo serán menores, pero aumentará el coste del aislamiento. Es necesario, por tanto, establecer un cierto equilibrio entre ambos extremos.

En principio, el espesor del aislante vendrá dado por el flujo de calor que exista, por la diferencia de temperaturas externa e interna, por la superficie a aislar, y por el tipo de aislante seleccionado. Este cálculo puede realizarse siempre que se conozcan todos los datos y suponiendo que el aislamiento se realice mediante una única capa de aislante. En realidad, suele recomendarse que el aislamiento se realice en dos capas al menos.

En la práctica no suele conocerse el flujo de calor, por ello se recurre a ciertas reglas o normas prácticas. Así, por ejemplo, se suele estimar que el flujo de calor por unidad de superficie para un aislamiento de corcho en cámaras frigoríficas que deben ser mantenidas a 0 °C se sitúa entre $8 \text{ kcal/(h m}^2\text{)}$ y $12 \text{ kcal/(h m}^2\text{)}$. En la Tabla 7.2 se dan algunos valores orientativos para el espesor de corcho en distintas cámaras y para distintas superficies. Si en lugar de corcho se elige otro material aislante, el espesor de éste último se obtiene de forma proporcional (a mayor conductividad mayor espesor).

- Transmisión de calor.

Según sea el material o materiales aislantes, puede calcularse la transmisión de calor entre el exterior y el interior de la cámara, a partir de la expresión ya conocida:

$$\dot{Q} = Q/t = U A \Delta T$$

donde U es el coeficiente global de transmisión. En su cálculo suele despreciarse la contribución por convección a ambos lados, así como el aislamiento producido por los materiales de construcción externos a la cámara. La aportación de ambos al valor de U es pequeña y además la simplificación realizada permite realizar los cálculos con mayor margen de seguridad ya que suponemos una transmisión de calor mayor que la real.

- Barrera o pantalla antivapor.

Otros aspectos a tener en cuenta en el aislamiento de instalaciones de refrigeración es la colocación de barreras o pantallas antivapor, es decir de un material que reduzca la transferencia de vapor. La eficacia del aislamiento de la cámara depende en gran parte de que permanezca seca. Como sabemos, la disminución excesiva de temperatura provoca la condensación del agua existente en el aire (una vez que se alcance la temperatura de rocío). Debe evitarse, por tanto, que el vapor pase al interior de la cámara mediante la colocación, **en la parte externa de la cámara**, de pantallas (de betún asfáltico, por ejemplo) que impidan el paso del vapor.

En particular, la norma UNE 100171:1989 IN señala que “los materiales aislantes instalados sobre equipos y conducciones en cuyo interior esté un fluido a temperatura inferior a 15 °C llevarán siempre una barrera antivapor sobre la cara exterior del aislamiento”. Dicha norma denomina “BA” a los materiales en láminas para barreras antivapor haciendo referencia a los siguientes: polietileno, poliéster, aluminio, papel kraft, pinturas al esmalte y recubrimientos asfálticos.

La norma también indica que “la eficiencia de la barrera antivapor se reduce fuertemente cuando existen discontinuidades como, por ejemplo, juntas deficientemente selladas, falta de solape, insuficiente espesor del material de la barrera, expansión térmica no compensada, esfuerzos mecánicos aplicados desde el exterior, envejecimiento, etc. Por lo tanto, se cuidará con esmero el cierre de las juntas de la barrera antivapor”. En la fijación de dichas barreras se debe evitar, por ejemplo, la realización de agujeros, por donde penetraría fácilmente el vapor de agua.

3. Cálculo de cargas en refrigeración.

Se denomina carga de enfriamiento o de refrigeración a la velocidad con la que es preciso retirar calor desde un recinto para bajar su temperatura hasta un valor deseado.

Dicha velocidad tendrá unidades de energía por unidad de tiempo, y suele expresarse en: kW, kJ/día, kcal/día, kcal/h, etc. También es frecuente denominar “frigoría” a la kilocaloría cuando el calor es extraído.

Precisamente, el punto de partida para el diseño de cámaras frigoríficas es evaluar sus necesidades o “cargas” de refrigeración, pudiendo así establecer cuál será el equipo frigorífico más adecuado para compensar dichas ganancias de calor (pérdidas frigoríficas). Evidentemente dicha carga puede ser variable a lo largo del tiempo, por ello se suele realizar una estimación de las necesidades máximas.

3.1. Pérdidas por transmisión.

Se incluyen aquí las pérdidas frigoríficas, es decir, las pérdidas de calor, que se producen por transmisión a través de las paredes de la cámara. Será necesario conocer la diferencia de temperaturas, la superficie de cada pared, el espesor del aislante en cada pared y el tiempo (generalmente se toma como base un día, es decir, 24 horas). Se utiliza entonces directamente la expresión para la transmisión del calor:

$$\dot{Q}_t = k (A/d) \Delta T$$

donde, como ya se dijo, se desprecian las contribuciones por convección y las contribuciones del material de construcción. Este cálculo debe realizarse para cada pared, ya que la superficie, el espesor o la diferencia de temperaturas puede ser diferente. La pérdida total por transmisión será la suma de la pérdida a través de cada pared.

3.2. Enfriamiento y/o congelación de productos.

El enfriamiento del producto suele ser la mayor de las cargas de refrigeración, ya que es el objetivo final del proceso. Para estimar esta carga hay que tener en cuenta:

- Plazo de tiempo del que se dispone para el enfriamiento y/o congelación.
- Cantidad de producto que hay que enfriar en dicho plazo.
- Temperatura a la que hay que enfriar el producto.
- Recipiente en el que se almacena el producto.

Los dos primeros factores se suelen reunir en el concepto de “recepción máxima diaria”, es decir, en la cantidad máxima de producto que la cámara recibirá al cabo del día, M_d . En algunos casos esta cantidad será muy inferior a la capacidad máxima de la cámara, mientras que en otros, como las cámaras de preenfriamiento de centrales hortofrutícolas, ambas cantidades coinciden.

Para calcular la cantidad de calor que debe extraerse de la cámara debemos conocer las temperaturas de entrada, de enfriamiento y, en caso necesario, de congelación del producto, así como su calor específico.

* Sólo enfriamiento: $\dot{Q}_e = M_d c_p (T_1 - T_2)$

* Enfriamiento y congelación: $\dot{Q}_e = M_d c_p (T_1 - T_c) + M_d L_s + M_d c_c (T_c - T_2)$

donde

- \dot{Q}_e = Carga de enfriamiento (J/día)
- M_d = Recepción máxima diaria (kg/día)
- T_1 = Temperatura de entrada.
- T_2 = Temperatura de conservación. (Tabla 7.3)
- T_c = Temperatura de congelación del producto (Tabla 14)
- L_s = Calor latente de congelación, fusión o solidificación (J/kg) (Tabla 14)
- c_p = Calor específico del producto (J/(kg °C)) (Tabla 14)
- c_c = Calor específico del producto congelado (Tabla 14)

3.3. Conservación de productos.

Algunos productos refrigerados, especialmente productos hortofrutícolas, continúan desprendiendo cierta cantidad de calor una vez que han alcanzado su temperatura de conservación. Este calor se denomina **calor de respiración**, y debe ser extraído de la cámara para evitar aumentos de temperatura. En la Tabla 7.4 se proporciona como dato la cantidad de calor de respiración producido cada día (en kcal/tonelada) por diversas frutas y verduras a varias temperaturas de referencia. Si denominamos q_r a ésta cantidad, el calor por necesidades de conservación por día será :

$$\dot{Q}_r = M_t q_r$$

donde M_t será la cantidad de producto total que se encuentra almacenado.

3.4. Pérdidas por renovación de aire.

El aire de la cámara frigorífica debe ser renovado periódicamente con una frecuencia que depende del tipo de producto que se almacene. Por ejemplo, en el caso de carnes refrigeradas, quesos en maduración y huevos el número de renovaciones será de 2 a 4 cada día. En el caso de centrales hortofrutícolas el número puede ser menor, aunque dependerá del tipo de producto almacenado y de si se realiza, o no, algún tratamiento químico.

El aire que entra en la cámara se enfría y se seca, produciéndose por tanto dos cargas por renovación de aire. En el cálculo de las mismas resulta útil el conocimiento de las propiedades psicrométricas del aire, así como la utilización del

diagrama psicrométrico. En el enfriamiento intervendrá la diferencia de temperaturas entre el aire externo y el interno, mientras que la condensación del agua aporta un cierto calor latente. Ambas contribuciones se encuentran reunidas en la definición de entalpía del aire. La expresión a utilizar será, por tanto, la siguiente:

$$\dot{Q}_a = n m_a \Delta h^*$$

siendo: n = Número de renovaciones de aire al día.
 m_a = masa de aire que entra en la cámara ; $m_a = V/v^*$

V = Volumen interno de la cámara.
 v^* = Volumen específico del aire que entra.

Δh^* = Diferencia de entalpías entre el aire externo y el interno.

Ya que la condensación del agua se produce en los evaporadores, será necesario descongelarlos periódicamente utilizando resistencias eléctricas, cortinas de agua o invirtiendo el sentido de circulación del gas refrigerante.

3.5. Otras cargas térmicas.

Para completar el cálculo de cargas pueden estimarse otras cargas térmicas de menor importancia, entre las que destacamos:

- **Calor desprendido por los ventiladores.** Los ventiladores situados en los evaporadores generan una cierta cantidad de calor durante su funcionamiento. La determinación exacta de ésta contribución resulta difícil a priori, ya que inicialmente no se conoce cuál equipo se va a instalar, y por tanto cuál será la potencia de dichos ventiladores. Ya que la contribución al total de cargas es pequeña, se suele dar una cifra aproximada, q_v , de entre 10 y 50 kcal/m³ al día. Si se conoce o se estima la potencia, solamente habrá que multiplicarla por el tiempo que esté funcionando el ventilador.

En definitiva, la contribución por el calor desprendido por los ventiladores será:

$$\dot{Q}_v = P t \quad \text{ó} \quad \dot{Q}_v = V q_v$$

- **Necesidades por servicio.** Nos referimos aquí a las pérdidas frigoríficas debidas a la iluminación de la cámara, la circulación de personas, la apertura de puertas, condensaciones, descarche, enfriamiento de los recipientes donde se almacena el producto, etc. Suele estimarse que el total de pérdidas se sitúa entre el 10 y el 25% de las pérdidas por transmisión. Se suele estimar que todas estas pérdidas constituyen alrededor del 15% de las pérdidas por transmisión, enfriamiento y/o congelación y conservación:

$$\dot{Q}_s = 0.15 (\dot{Q}_t + \dot{Q}_e + \dot{Q}_r)$$

3.6. Carga total.

Llamaremos carga total ó **carga total diaria** a la suma de todas las cargas producidas en un día (24 horas):

$$\dot{Q}_T = \dot{Q}_t + \dot{Q}_e + \dot{Q}_r + \dot{Q}_a + \dot{Q}_v + \dot{Q}_s \quad \text{kJ/día}$$

Dividiendo esta cantidad entre el número de horas de funcionamiento de los equipos frigoríficos (H , entre 10 h y 24 h) obtendremos la **carga térmica horaria**:

$$\dot{Q}_h = \dot{Q}_T / H \quad \text{kJ/h}$$

Y dividiendo la carga térmica horaria entre 3600 s, obtendremos la **potencia teórica** de los equipos frigoríficos. En la práctica se suele añadir un margen de seguridad del 10%, entonces:

$$P = 1.1 (\dot{Q}_h / 3600) \quad \text{kW} \quad \text{ó} \quad \text{W}$$

* Otros aspectos a tener en cuenta:

- Deben evaluarse las necesidades frigoríficas máximas en la etapa del llenado de la cámara. Si una vez cargada la mercancía permanece un cierto tiempo y no se añade más, las necesidades quedan fuertemente reducidas.
- Es prácticamente imprescindible la existencia de automatismos de arranque y parada de los equipos frigoríficos, de forma que no se consuma más energía que la necesaria.
- La potencia frigorífica total debe ser fraccionada en varios equipos, de forma que cuando las necesidades son pequeñas algunos motores queden inactivos.
- Existen programas informáticos que van solicitando datos y realizan todos los cálculos anteriores de forma automática.