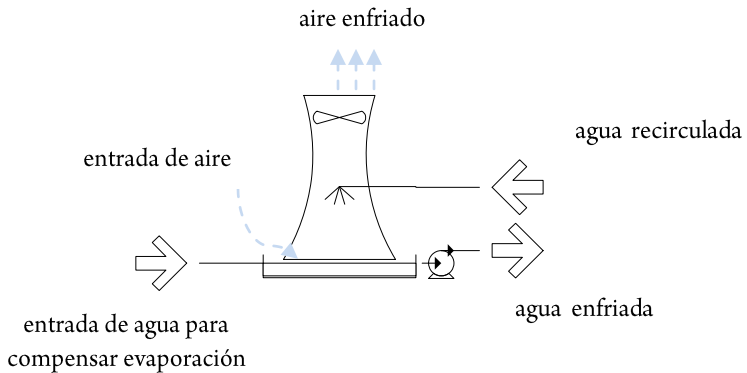


## 11.- Refrigeración

Fundamentalmente se utilizan cambios de estados que se describen por la relación " $Q=\lambda m$ " siendo " $Q$ " el calor involucrado, " $\lambda$ " el coeficiente de calor latente relacionado con el cambio de estado en cuestión y " $m$ " la masa de la sustancia que cambia de estado.

Las torres de enfriamiento son equipos frecuentemente utilizados en la industria para mejorar el rendimiento de los sistemas frigoríficos. Prácticamente son los únicos que utilizan el agua como sustancia para los cambios de estado.



Las torres de enfriamiento producen tanto agua como aire enfriados. La evaporación se produce cuando se pone en contacto el agua finamente dividida con la corriente de aire producida por el ventilador (la circulación de aire puede ser al revés del esquema, ya que el ventilador puede actuar como forzador o como inductor). La eficacia de trabajo es función

de la capacidad del aire de absorber agua, por lo que resulta inversamente proporcional a la humedad de este último, y el equipo no es útil con aire saturado.

Salvo los sistemas de adsorción, los demás equipos que se utilizan industrialmente funcionan invirtiendo el ciclo de Carnot mediante la compresión de una sustancia llamada refrigerante capaz de cambiar de estado dentro del rango de temperaturas y presiones de operación del equipo.

El amoniaco es uno de los refrigerantes más antiguamente usados y todavía en la actualidad es popular. Tiene la desventaja de ser oloroso y corrosivo, pero su fuerte olor es un aviso que delata pérdidas y fugas.

Se lo conoce como refrigerante 17, su fórmula química es  $\text{NH}_3$  su peso molecular 17 y su punto de ebullición  $-28^\circ\text{C}$ .

Modernamente se ha preferido el uso de refrigerantes del tipo halogenuros orgánicos, que no son corrosivos ni combustibles, conocidos como freones:

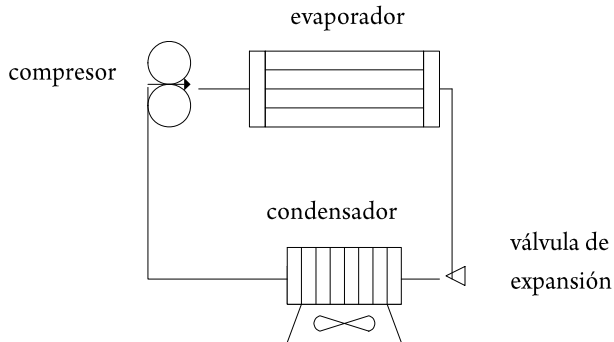
Nº	nombre	fórmula	peso	Punto de ebullición
R11	triclorofluorometano	$\text{Cl}_3\text{FC}$	137,35	$-40^\circ\text{C}$
R12	diclorodifluorometano	$\text{Cl}_2\text{F}_2\text{C}$	120,89	$-40^\circ\text{C}$
R113	clorotrifluoroetileno	$\text{CClF-CF}_2$	116,44	$-18^\circ\text{C}$
R114	tetrafluoroetileno	$\text{CF}_2\text{-CF}_2$	99,98	$-105^\circ\text{C}$
R22	clorodifluorometano	$\text{HClF}_2\text{C}$	86,44	$-155^\circ\text{C}$

Por su efecto degradativo de la capa de ozono estos refrigerantes a su vez fueron reemplazados y muchos de ellos prohibidos por el Protocolo de Montreal, que es el recurso de las naciones unidas para el control de estas sustancias.

Los reemplazos en la industria se realizan de manera gradual para no perjudicar las inversiones de las instalaciones existentes, más a considerar en los países en desarrollo como el nuestro, con sus recientes 200 años de independencia, aunque sí se establecieron metas pretenciosas para el año 2015. Los refrigerantes propuestos por la nueva tecnología, como el R407C, el R410A y el R134a no dañan la capa de ozono. Pero sirva este ejemplo para resaltar la dialéctica del desarrollo tecnológico que suele presentar controversias como el caso producción - salud, donde el desarrollo tecnológico de la una actúa a veces en contra de la otra y la convivencia se hace posible gracias a la tolerancia y a la concesión de plazos razonables para permitir la inversión requerida para la adaptación.

El sistema se compone de un compresor capaz de producir la presión suficiente como para condensar el refrigerante a la temperatura ambiente en la que se encuentra, un intercambiador de calor tubular con aletas que entrega el calor de condensación al ambiente, por lo que la temperatura del ambiente debe ser menor que la de condensación, una válvula de expansión que permite disminuir la presión a la que el compresor somete al sistema, mediante un cambio en el área de la

cañería del equipo, y un intercambiador de tubos y aletas, encargado de tomar calor del medio a refrigerar para satisfacer las necesidades del cambio de estado del refrigerante.



Se puede observar que se crea una zona de alta presión entre la salida del compresor y la válvula de expansión, creada por el funcionamiento del compresor; y una zona de baja presión entre la salida de la válvula de expansión y la entrada de succión del compresor. Por lo tanto el sistema tiene como característica de diseño un valor de presión alta y otro de baja.

El único componente que se encuentra en contacto con el medio a refrigerar es el evaporador, que frecuentemente dispone de un sistema de ventiladores para forzar o inducir el movimiento del aire en contacto con las aletas del intercambiador. Por lo tanto el sistema tiene como característica de diseño una temperatura baja y otra alta (la que requiere el condensador).

La temperatura del medio en el cual trabaja el condensador puede disminuirse con el propósito de aumentar el rendimiento del sistema, frecuentemente mediante el uso de una torre de enfriamiento.

La capacidad de frío (calor que debe extraer el evaporador) se calcula en función del material a enfriar y el rango de temperaturas a refrigerar según la relación  $Q=mC_p\Delta T$  donde “Q” representa la cantidad de calor a extraer, “m” la masa del material a enfriar, “C<sub>p</sub>” el calor sensible del material a enfriar y “ΔT” el cambio de temperatura que requiere el enfriamiento.

Para la mayoría de los alimentos puede tomarse groseramente  $C_p= 3,3$  [Kj/Kg °C] (recordar que 1Kcal = 4,2 Kj).

Los equipos de frío se referencian a la potencia de enfriamiento y esto significa que debe considerarse el tiempo necesario para realizar el enfriamiento estimado.

$$P = \frac{dw}{dt} = \frac{dQ}{dt}$$

Ej: Para una cámara que pretende refrigerar a 2°C en 8h, 100 cajones con higos que ingresan con un temperatura de 32°C.

$$m= 100 \times 19 \text{ [Kg]} = 1.900 \text{ [kg]}; \Delta T=30 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\text{Luego } Q= mC_p\Delta T = 1.900 \text{ [kg]} \cdot 3,3 \text{ [Kj/kg }^\circ\text{C]} \cdot 30 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$Q= 188.100 \text{ Kj equivalentes a } 44.786 \text{ [Kcal]}.$$

Las cámaras están sometidas a otros intercambios térmicos como las pérdidas a través de las paredes (que deben estar prolijamente aisladas) y a la circulación de operarios y mercadería (calor hombre) que se suele considerar implementando un factor de seguridad que para estos casos varía entre (1,2 y 1,6) por lo que no resulta irracional considerar un resultado de 282.150 [KJ] o 67.179 [Kcal] y una potencia de:

$$P = \frac{dQ}{dt} = \frac{282.150 [Kj]}{8[h].3600[seg/h]} = 9,8 [Kw] = 13,13 [HP]$$

Una vez determinada la potencia del compresor los demás equipos quedan, prácticamente definidos en relación a este y a las condiciones establecidas para la operación de la cámara, que comúnmente mantendrá su temperatura entre (2 - 5) °C dentro del rango de humedades relativas de (85 - 95) %.

Para calcular el tiempo de un enfriamiento en particular se puede utilizar:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{A U}{m C_p} (T - T_m) \quad \rightarrow \quad t = \frac{m C_p}{A U} \ln\left(\frac{T_i - T_m}{T_f - T_m}\right)$$

Donde:

T es el tiempo de enfriamiento; m la masa del producto

$C_p$  el calor específico del producto

A el área de transferencia

U el coeficiente global de transmisión del calor

$T_i$  y  $T_f$  las temperaturas inicial y final del producto

$T_m$  le temperatura del sistema

Sánchez Brizuela, R; Mansilla, S. (2019) E.C.U. UNCA