

Antecedentes históricos de la refrigeración

El frío natural

El arte de la refrigeración basado en el hielo natural es muy antiguo y se practicó mucho antes de construirse cualquier máquina térmica. Hay escritos chinos, anteriores al primer milenio a. J.C. que describen ceremonias religiosas para llenar en invierno y vaciar en verano sótanos de hielo. Los antiguos romanos utilizaban el hielo de los Apeninos, y según *Las mil y una noches*, en la Edad Media caravanas de camellos transportaban hielo desde el Líbano a los palacios de los califas en Damasco y Bagdad.

Los griegos y los romanos comprimían la nieve en pozos aislados con pasto, paja y ramas de árboles. La nieve comprimida se convertía en hielo para ser usado en épocas de mayor calor. Esta práctica la describe Peclet (identificación **34**) y ha llegado hasta casi mediados del siglo XX en algunas zonas rurales catalanas, donde existían los llamados *pous de glaç*. Estos pozos se construían en laderas umbrías de los montes, de forma cónica con la base en la superficie y con un pozuelo en el fondo separado por una rejilla y en forma que se pudiese recoger y verte fuera el agua producida por la fusión de hielo. A medida que se iba echando la nieve o el hielo en estos pozos, se rociaban con agua helada y, una vez llenos, se cubrían su boca con paja y tablas que aislaban el hielo del calor exterior; así conservaban hielo preparado en invierno.

Otros escritos antiguos describen cómo los egipcios, hindúes y otros pueblos, empleaban procedimientos para producir hielo artificialmente, en general parecidos en sus principios. Se llenaban con agua vasijas poco profundas de arcilla porosa u otro material análogo y se colocaban sobre gruesos lechos de paja durante la noche. Si las condiciones atmosféricas eran favorables: frío, aire seco y una noche sin nubes, la pérdida de calor, debida a la evaporación nocturna, originaba la formación de finas capas de hielo en la superficie. La paja impedía la conducción del calor desde la tierra más caliente y la forma de las vasijas, poco profundas y de una gran superficie, facilitaba la evaporación y la pérdida de calor por radiación. Estos primeros métodos de producir refrigeración son otro notable ejemplo de la habilidad humana, patente en toda la historia de la termotécnica y las máquinas térmicas, para desarrollar un arte útil mucho antes de la existencia de las correspondientes bases racionales y científicas; facultad de utilizar y crear lo que no se entiende que ha marcado la evolución de la humanidad.

Asimismo, hasta mediados del siglo XIX existían navieras especializadas que transportaban miles de toneladas de hielo de Suecia y de los Grandes Lagos de EE.UU.A y Canadá a las Indias orientales, Australia, las Antillas y América del Sur.

Primeros métodos artificiales: Las mezclas refrigerantes

La utilización de los procesos químicos mediante mezclas refrigerantes se puede considerar como una etapa intermedia entre el frío natural y el frío artificial, y desde

antiguo se conocía que añadiendo ciertas sales, como por ejemplo el nitrato sódico, al agua, se consigue disminuir su temperatura.

Este procedimiento era utilizado en la India en el siglo IV y durante la dominación musulmana en la península Ibérica. Así, los Omeyyas introdujeron en Córdoba los sorbetes que elaboraban usando una mezcla de nieve con salitre.

En 1553 un médico español, aposentado en Roma, Blas Villafranca se ocupaba, en su libro, editado en Roma, *Methodes refrigerandi ex vocato sale nitro vinum aquamque ac potus quodvis aliud genus, cui accedaent varia naturalium rerum problemata, non minus jucunda lectu, quam necessaria cognitu*, del enfriamiento del agua y el vino por medio de mezclas refrigerantes, nombrando por primera vez la palabra *refrigerar* en el sentido de lograr y mantener una temperatura inferior a la del ambiente. En 1607 se descubrió que podía utilizarse una mezcla de agua con sal para congelar el agua.

En el siglo XVII, las mezclas refrigerantes son utilizadas en la investigación científica por Robert Boyle (Castillo de Lios Mar 1627 – Londres 1691) y por el astrónomo físico francés Philippe Laire (París 1677 - 1719), más tarde, en el siglo XVIII, numerosos físicos y químicos emplean mezclas refrigerantes en el laboratorio. Destaca en su estudio Antoine Baumé, (Senlis 1728 - París 1804), farmacéutico y catedrático del Collège de Pharmacie de París desde 1758, y miembro de la Academia de Ciencias desde 1771, que inventó la escala de areómetro de su nombre, en 1760; e investigó sobre la fabricación de porcelana. También fundó industrias para producir cloruro amónico y acetato de plomo, y preparó fórmulas magistrales conocidas. Publicó *Disertation sur l'éther* en 1757 y *Chimie experimentale et raisonnée* (cuya traducción se exhibe, identificación **29**), entre otras obras. En sus escritos expone, además, que sobre la misma época, formó hielo artificial gracias a que (cita de Sigaud de la Fond, identificación **30**, tomo IV, pág. 106):

el ether expuesto al aire se evapora con la mayor prontitud y produce al evaporarse un frío muy sensible en el cuerpo que se evapora.

Estas mezclas permitieron experimentos a bajas temperaturas y así, en 1715, utilizando una mezcla de nieve y nitrato amónico, Fahrenheit establecía el cero de su termómetro; en 1760 von Braun congeló el mercurio a -40°C , etc.

En el siglo XIX numerosos científicos como: von Karsten en 1840, Hanemann en 1864, Rüdorff en 1869, Pfandler en 1875 y Brendel en 1892 estudiaron las leyes que rigen las mezclas frigoríficas, y las mezclas de hielo y sal común, que permiten disminuir la temperatura hasta -20°C , se emplearon corrientemente para congelar productos alimenticios, y todavía en 1904, Emilio Carbonell y en 1912, José Gres, registraron patentes españolas de mezclas refrigerantes para conservar alimentos.

Estos métodos sin embargo, son discontinuos y de capacidad muy limitada, por lo que no se puede hablar de refrigeración hasta la invención de los métodos continuos, de dos tipos básicos: consumidores de trabajo y consumidores de calor.

La refrigeración mecánica

La refrigeración mecánica, es decir producida consumiendo trabajo con una máquina

funcionando continuamente, se obtuvo por diversos caminos pero todos basándose en la expansión de un fluido, que puede efectuarse sin cambio de fase (despresurización de un gas) o, lo más frecuente, con cambio de fase (evaporación de un líquido), que a su vez se haya recalentado a la presión atmosférica o menor. A pesar de que los primeros intentos de obtener frío mecánico fueron por evaporación de un líquido volátil, la primera máquina realmente operativa fue de expansión de aire. Por este motivo se denomina máquina frigorífica de compresión

En la literatura anglosajona, la primicia de la obtención de frío por evaporación se adjudica a William Cullen (Hamilton 1712 - Glasgow 1790), hijo de un abogado, que recibió una educación científica tan avanzada como lo permitía la época, en la Universidad de Glasgow y en el Colegio de Médicos y Cirujanos en Glasgow. Graduado en 1729, practicó varios años en hospitales antes de ser catedrático de Química y Física en la Universidad de Edimburgo, terminando su carrera como catedrático de medicina práctica, cargo que ocupó en 1773. Por primera vez en la historia, dio clase de medicina en inglés en vez de latín, en 1744 en Glasgow. Se preocupó de los problemas térmicos como médico y propuso una teoría sobre el origen cerebroespinal de la fiebre, pues según él todas las afecciones eran de origen nervioso. Creó un sistema propio de clasificación de las enfermedades y parte de su obra médica fue traducida al castellano por Piñedo. Hacia 1750 se interesó en el fenómeno de la evaporación de líquidos y realizó muchas experiencias en las que hervía líquidos bajo vacío, usando la mejor bomba de vacío que pudo obtener; así observó que, independientemente de las condiciones ambientales, se podía producir hielo mecánicamente, evaporando líquidos volátiles, y en 1755, ocupando la cátedra de Química, publicó en Edimburgo un trabajo científico titulado *Essay on Cold Produced by Evaporating Fluids*, en el que escribió:

En un experimento hecho con éter nitroso, cuando el calor del aire estaba alrededor de los 43°F, colocamos la vasija que contenía éter dentro de otra, un poco mayor, que contenía agua. Después de hacer vacío y que las vasijas hubieran permanecido unos minutos en el mismo, encontramos la mayor parte del agua congelada y que la vasija que contenía éter estaba rodeada de una gruesa y firme capa de hielo.

Por otro lado, ya se ha indicado que según Sigaud de la Fond, Antoine Baumé, sobre la misma época, provocó frío artificial gracias a que desde el año 1730 ya se disponía de éter etílico, descubierto por el médico Segismundo Augusto Frobenius (? - Londres 1741). Sigaud le atribuyó el descubrimiento del éter etílico, citando una memoria a la Royal Society, publicada en las *Philosophical Transactions* en 1741, en la que describe el método para su preparación, añadiendo Sigaud que al éter nitroso también se le denomina licor ethereo de Frobenius (posteriormente se ha descubierto que el alquimista Valerius Cordus ya indicó como se podía obtener éter en 1535 y también habla de ello Raimón Llull).

Sin embargo, ni Cullen ni Baumé explotaron su descubrimiento ni construyeron máquinas para elaborar hielo, a pesar de poseer *éter nitroso* que, en un vacío elevado, herviría a una temperatura suficientemente baja como para congelar el agua, y disponer de la bomba con la que podían hacer vacío continuamente.

Se hicieron otros descubrimientos en la misma línea; y así, alrededor de 1761, Joseph

Black, alumno de Cullen, desarrolló su teoría del calor latente de fusión y evaporación, que, además de su importancia en el desarrollo de la teoría del calórico, clarificó el papel desempeñado por el calor en los cambios de estado de la materia. Pocos años después, en 1744, Priestley descubrió el amoníaco y el dióxido de carbono, que mostraron poseer propiedades termodinámicas convenientes para ser usados en refrigeración. Es notable que tanto Black como Priestley fueron amigos de James Watt, el hombre que tanto contribuyó al desarrollo de la 1ª máquina térmica, la de vapor.

Según las fuentes anglosajonas, que no citan a Frobenius ni a Beaume, años más tarde, en 1777, otro médico inglés Edward Gerald Nairne (Londres 1726 - 1806), quien también destacó en el estudio de fenómenos eléctricos, publicando obras sobre electricidad como *Descripción de la máquina eléctrica*, 1787, mejoró el aparato de Cullen añadiendo un pequeño recipiente con ácido sulfúrico dentro de la campana de vacío, para absorber vapor de agua y acelerar el proceso. Sucesivas mejoras de este dispositivo fueron realizadas en 1810 por Sir John Leslie (Largo 1766 - 1859) y en 1824 por John Vallance (1800 - 1846).

Ninguno de estos aparatos (ni los eventuales de Frobenius y Beaumé) pasó de la etapa de laboratorio, y hasta 1866 no se consiguió un aparato de uso comercial con este sistema, el que patentó Edmond Carré (Moislains 1833 - ? 1894), cuyo hermano mayor Ferdinand inventó la máquina de absorción (ver más adelante).

Edmond Carré hizo práctica su máquina moviendo el ácido sulfúrico por medio de un brazo conectado al émbolo de la bomba de vacío, que estaba accionada a mano. Con esto conseguía evitar la dilución superficial del ácido y aumentar la absorción. El aparato se empleaba para enfriar garrafas de agua; el cuello de la garrafa se adaptaba al tubo de aspiración de la bomba, en 2 ó 3 minutos la temperatura del agua descendía de 30°C a 0°C y llegaba a congelarse completamente de 20 a 25 minutos. El éxito de este aparato, en el ámbito doméstico y de restauración, fue muy grande.

Todos los intentos que siguieron utilizando este sistema, para conseguir, una máquina de mayor tamaño y funcionamiento no intermitente, tuvieron escaso éxito y hubo que esperar hasta 1909, cuando Maurice Leblanc (1857 - 1923) utilizó la evaporación del agua a baja presión como procedimiento de refrigeración en las máquinas con eyectores de vapor (identificación **28**, pág. 114).

Sin embargo, no se reconoce un solo nombre la paternidad de la refrigeración en la medida en que se le reconoce a Watt la de la máquina de vapor, aunque Oliver Evans, el americano que desarrolló la máquina de vapor de alta presión, fue quizá el primero en proponer el uso de ciclos cerrados en refrigeración; su idea la sugirió en un tratado aparecido en Filadelfia en 1805, en la que describe un ciclo de refrigeración por compresión y evaporación de éter etílico. También en las cartas personales de Richard Trevithick, otro de los creadores del generador de vapor a presión, escritas en 1828, se encuentra un ensayo sobre *The Production of Artificial Cold*. Sin embargo sus ideas no culminaron de forma práctica.

Fue otro ingeniero, proveniente del campo de los generadores de vapor quien inventó el primer sistema de compresión de vapor, usando vapor condensable, al igual que Cullen y Beaumé, como medio refrigerante. El ingeniero americano Jacob Perkins

(Newburyport 1766-1848) que había inventado los tubos de agua para generador de vapor que actualmente llevan el nombre de *Field*, inventó la máquina destinado a ser la base de la actual industria de la refrigeración.

Perkins, nació en el estado de Massachusetts, pero se conoce poco de sus primeros años aunque, como se ha dicho registró varias patentes sobre calderas y máquinas de vapor. En cuanto a la refrigeración se sabe que en agosto de 1834 obtuvo una patente de los Estados Unidos, descrita como *Improvement in the Apparatus and Means of Producing Ice and in Cooling Liquids*, para una máquina de compresión (análoga a la mostrada en la identificación **28**, pág. 114) que trabajaba en un ciclo cerrado. El éter hervía en un evaporador, a baja temperatura y presión, para congelar el agua. Luego el vapor de éter obtenido se comprimía y condensaba a mayor temperatura y presión; finalmente, el éter líquido del condensador se introducía, a través de una válvula de expansión, dentro del evaporador a baja presión, donde la temperatura descendía de nuevo a su valor inicial, completando así el ciclo.

En la descripción para la obtención de la patente, Perkins hablaba de su máquina como:

un aparato o medios mediante los cuales estoy capacitado de usar fluidos volátiles con el objeto de producir el enfriamiento o la congelación de líquidos y, al mismo tiempo, condensar constantemente dicho fluido volátil para usarlo una y otra vez, sin desperdicio.

Perkins se trasladó a Inglaterra, donde John Hague le construyó en Londres, el mismo año 1834, su primera máquina que, aunque primitiva, funcionaba bien. Fue el primer aparato impulsado mecánicamente, capaz de fabricar cantidades de hielo importantes. Perkins obtuvo una patente inglesa e intentó desarrollar su máquina comercialmente. Diseñó una pequeña planta en la que se elaboraban bloques de hielo haciendo circular salmuera refrigerada por el éter comprimido con un compresor mecánico, alrededor de unas latas que contenían el agua. A pesar de que años más tarde se utilizó ampliamente su idea para la fabricación de hielo, el primer intento no tuvo éxito comercial. La sociedad civilizada tenía, por supuesto, necesidad de refrigeración, pero los problemas de financiar una industria que carecía de antecedentes y preparar la venta y distribución del hielo, eran numerosos y complejos. Por más que la necesidad existiese y se contara con un prototipo, su máquina nunca tuvo éxito comercial, aunque el ciclo que proponía era el teóricamente correcto. Su idea de producir refrigeración por evaporación de un líquido a baja temperatura y baja presión, y luego condensar el vapor obtenido a alta temperatura y alta presión, es la base de los actuales ciclos de compresión de vapor. Perkins no comprendía, realmente el principio fundamental de su ciclo, aunque Joseph Black, años antes, hubiese analizado teóricamente los calores latentes de evaporación y condensación, pero esto sucedía cerca de sesenta años antes de que Carnot publicara su trabajo sobre la potencia motriz del calor y casi un siglo antes de que Rankine propusiera su ciclo. Pasaría todavía una década hasta que la termodinámica pudiera explicar la teoría y limitaciones y ventajas respecto a los ciclos de aire, de la refrigeración por compresión.

El posterior desarrollo de la refrigeración continua tuvo tres centros: Europa (destacando Gran Bretaña), Australia y los Estados Unidos. Europa necesitaba la refrigeración para sus industrias de lechería, de la cerveza y de destilación, y para

poder importar alimentos perecederos, en especial los británicos. Australia se estaba convirtiendo en un gran producto de carne y precisaba la refrigeración para poder vender sus productos en el extranjero. Los Estados Unidos era una nación joven y dinámica donde florecía la inventiva. El cálido sur americano, donde la necesidad de refrigeración era un hecho, obtenía hielo de los ríos y lagos de los Estados del norte. Bajo la amenaza de la Guerra Civil, el Sur se vio en la necesidad de contar con una fuente de hielo independientemente, lo que aceleró el desarrollo de la industria de la refrigeración mecánica.

Se considera que la primera máquina de refrigeración que funcionó comercialmente con éxito a John Gorrie (Apalachicola ? - ?). Gorrie era un médico que buscaba una máquina que produjera hielo y frío para ayudar a tratar a sus pacientes de fiebre amarilla. No está claro cómo llegó a la idea de su máquina, pero sabe que ya en 1844, anunciaba su diseño. Tuvo que aguardar varios años sin embargo, antes de conseguir suficiente respaldo comercial para su primera máquina. Solicitó una patente de los EE.UU.A, que le fue conferida en 1851. La máquina de Gorrie difería de la de Perkins en el hecho de que funcionaba con un ciclo de aire i el fluido no sufría cambio de fase. La descripción de su funcionamiento incluye de su solicitud de patente, parte de la cual se transcribe a continuación:

1. El empleo de un líquido incongelable a la baja temperatura a la que es necesario mantener la máquina, para recibir el calor del agua que debe congelarse y entregárselo al aire en expansión.

2. El empleo de una máquina con el objeto de que la expansión del aire condensado sea gradual, para obtener así todos sus efectos refrigerantes y al mismo tiempo aprovechar la fuerza mecánica con la que tiende a dilatarse, para ayudar a trabajar la bomba de condensación, independientemente de la forma en que se armen, dispongan o funcionen las distintas partes.

3. Suministrar el agua lenta y gradualmente a las vasijas de congelamiento, y congelarla extrayendo calor desde la superficie de abajo, fundamentalmente como aquí se describe.

4. El proceso de enfriar o congelar líquidos comprimiendo aire en un recipiente, extrayendo el calor producido en la compresión por medio de un chorro de agua, permitiendo que el aire comprimido se expanda en una máquina rodeada por un depósito de un líquido incongelable, que se inyecta continuamente dentro de la máquina y vuelve al depósito y que sirve como intermediario para absorber el calor del líquido que será enfriado o congelado y para entregarlo al aire en expansión.

Esta máquina resulta aún más notable si se considera que Gorrie no era ni físico ni ingeniero. En algunos aspectos era parecida a la bomba de calor del ciclo de aire, de Lord Kelvin aunque cabe preguntarse qué bases teóricas usó para el diseño. Su invento no se desarrolló antes fuera de los EE.UU.A, por falta de publicaciones que distribuyeran información técnica. Más tarde una de sus máquinas fue embarcada para Inglaterra, donde fue descrita con detalle en los *Proceedings of the Civil Engineers of Great Britain*. Esta publicación era leída por ingenieros de todo el mundo y, en

consecuencia, la máquina de aire frío de Gorrie fue la base del diseño de las máquinas de refrigeración de ciclo de aire que han seguido. Gorrie murió en 1855, y, aunque su máquina producía realmente hielo, en aquella época no había demanda de hielo artificial en Londres y no se construyeron más.

La refrigeración por expansión de aire ha sido usada con buenos resultados durante muchos años, particularmente en los buques, siendo perfeccionada al avanzar el conocimiento de los procesos termodinámicos. Los tipos posteriores fueron, además de abiertos como el de Gorrie, es decir tomando aire nuevo en cada ciclo, ciclo inverso del de Brayton, cerrados, o ciclo inverso del de Joule, y son la base de los actuales sistemas de refrigeración para aeronaves. En la página 91 de la identificación **28** se muestra una máquina análoga a la de Gorrie.

En Australia fue James Harrison (1816 - 1893), un escocés emigrado a aquel país, quien tuvo el mérito de pasar de las máquinas anteriores, que eran solamente prototipos, a una máquina de compresión que fuese comercial. Harrison, estudió y mejoró la idea de Perkins, y en 1856 y 1857 obtuvo en Inglaterra patentes para una máquina de compresión de vapor de éter sulfúrico. Igual que Perkins, Harrison no era físico, pero sí un inventor con intuición para la mecánica práctica. Al contrario que en la Gran Bretaña, en Australia existía un problema con el hielo, pues al no ser accesible el natural, se importaba de los EE.UU.A. Era además un hombre influyente, miembro del Consejo Legislativo de Victoria, por lo que pudo hacer un viaje hasta Inglaterra con el fin de construir un prototipo de la primera máquina de hielo de Perkins y pedir las correspondientes patentes. El prototipo lo construyó el taller de Siebe Brothers y fabricaba 8 kg. de hielo por hora. (identificación **28**, p. 120)

En 1859 fundó una compañía para fabricar su máquina en Sidney, y dos años después comenzó una producción limitada en Inglaterra. Parece que la primera máquina que construyó Harrison en Australia fue instalada en la cervecería de *Glasgow & Thunder*, en Berdigo, Victoria, en 1860. Funcionó allí durante muchos años y fue la primera aplicación de la refrigeración mecánica a la industria cervecera.

En Inglaterra la primera máquina que Harrison construyó se instaló en 1861 en la refinería de petróleo de *Young, Meldrum & Binney* en Bathgate, Escocia, para la extracción de parafina. Esta fue la primera aplicación de la refrigeración a la industria de las refinerías de petróleo, aunque después se impusiese el procedimiento de absorción en esta industria. Otras máquinas de Harrison se usaron para fabricar bloques de hielo y algunas de ellas funcionaron muchos años. La misma sociedad, siempre utilizando el ciclo de compresión de éter etílico, fabrica otras máquinas de mayor tamaño y en 1861 una docena de máquinas Harrison funcionan en Inglaterra y Australia. La fabricación decayó hacia 1890 y terminó en 1902. La máquina por compresión de éter etílico terminó su etapa después de fabricarse durante 45 años.

De todos modos, se ha escrito (identificación **28** pág. 120) que la primera máquina de refrigeración continua realmente operativa fue la construida en 1874 por Carl Ritter von Linde (Berndorf 1842 - Munic 1934), ingeniero que estudió en el Polytechnikum de Zurich y que desde 1864 trabajó con Borsig. Fue profesor de teoría de máquinas en la Technische Hochschule de Munich, y en 1879 fundó en Wiesbaden una sociedad para explotar su patente de máquina para obtener hielo. Desde 1890 vivió en Munich donde instaló un laboratorio de ensayo de máquinas frigoríficas. Escribió la obra

Sauerstoffgewinnung mittels fraktionierter Verdampfung flüssiger Luft, en 1902. Fue uno de los iniciadores de la gran industria frigorífica, inventando además el procedimiento de licuación del aire que lleva su nombre.

Los principios de la refrigeración fueron difíciles, pues los constructores de máquinas refrigerantes imitaban las máquinas de vapor, de modo que los equipos eran de poco rendimiento y se averiaban frecuentemente. De vez en cuando, los fallos en las máquinas ocasionaban la pérdida de almacenes enteros de productos perecederos. Los primeros diseñadores y constructores a menudo tuvieron que afrontar problemas de aceptación. También se llegó a decir que el hielo artificial debía ser prohibido por la ley, basándose en la teoría de que era perjudicial para la salud, mientras que otros aseguraban que una ofensa a la voluntad divina.

Además el éter etílico era peligroso; así para refrigeración a bordo de buques se usaban exclusivamente ciclos de aire debido al peligro de incendio en alta mar que podía ocasionar el uso de éter inflamable.

Pronto el éter dio paso al amoníaco, al dióxido de azufre y al dióxido de carbono (identificación **28**); mientras tanto continuaba la búsqueda de refrigerantes más seguros y de mejor rendimiento. Esta búsqueda culminó en 1930 cuando Thomas Midgley, Jr., de Dupont, anunció el primer fluorocarbono, el *Freon-12*, que condujo a la familia que ha dominado la refrigeración por compresión hasta que a finales de los 80, su efecto sobre la capa de ozono (descubierto por Rowland y Molina en 1974) provocó que internacionalmente se haya acordado la extinción de su uso, en un plazo todavía poco claro, y que esté apareciendo una nueva familia de fluidos frigoríficos. Se ha de señalar que el manual de refrigeración más acreditado en Europa antes de la 2ª guerra mundial, el de Gottsche (identificación **28**, pág. 128), no se considera operativo el *Freon-12*, aunque se cita, y además se afirmaba que podía ser peligroso al producir algo de fosgeno, gas muy tóxico, en caso de incendio.

La refrigeración térmica. La máquina frigorífica de absorción.

Joseph Priestley había descubierto en 1774 el amoníaco y también había observado la gran afinidad de este nuevo gas, que él denominó *aire alcalino*, por el agua. Esta propiedad condujo a Ferdinand Philippe Edouard Carré (Moislains 1824 - Poncet 1900) a idear una máquina de refrigeración que sólo consumía calor, gracias a un nuevo sistema que él llamó *de afinidad*. El sistema fue conocido más tarde con el nombre de *absorción*. Esta máquina otuvo el premio de la exposición universal de Londres de 1862 y en 1875 el buque *Paraguay*, equipado con ella, transportó por primera vez carne congelada de Buenos Aires a Le Havre. Carré también inventó otros aparatos eléctricos,

Ferdinand Carré patentó su nueva máquina en 1859 y en los años siguientes registró numerosas patentes relacionadas con máquinas de refrigeración. Las máquinas fabricadas con arreglo a estas patentes fueron de dos tipos: una pequeña de operación intermitente, y otra grande de operación continua.

Damàs Calvet (identificación **12**) fue a París a estudiar el sistema Carré y da las siguientes descripciones de las dos máquinas del mismo, basada en un informe de Pouillet y Regnault. La máquina pequeña, figura 1 y 2 de la 1ª lámina, era de carácter

doméstico y portátil. Podía hacer de 0,5 a 2 kg. de hielo en cada operación; tenía dos elementos principales que actuaban alternativamente, el primero como calentador y absorbedor y el segundo como condensador y evaporador. El aparato se ponía a calentar durante 35 a 70 minutos; la solución concentrada de amoníaco se calentaba hasta 130°C, el gas amoníaco abandonaba la solución acuosa y pasaba al condensador donde se licuaba. En la fase de enfriamiento, aproximadamente de la misma duración, una bandeja de metal con agua se ponía en esta misma parte del equipo, que ahora funcionaba con evaporador, y el agua se congelaba. El aparato empleaba aproximadamente 3 kg de carbón de madera por cada kilo de hielo producido.

La máquina de operación continua, que tuvo mayor repercusión, era mucho más elaborada; tenía casi todas las características de las máquinas actuales. El conjunto se presenta en la figuras 3 (alzado lateral), 4 (planta) y 5 (alzado lateral), y estaba formado por un calentador A situado en el horno, en la parte inferior del mismo cuerpo, figura 6 de la 2ª lámina, en cuya parte superior había un rectificador para que el amoníaco desprendido se desecara calentándolo (rectificación) antes de pasar al condensador situado en la caja D, llena de agua fría que se renueva para mantener la temperatura alrededor de los 30°C y compuesto de dos serpentines, figuras 7 y 11, después del cual estaba una válvula de expansión que daba paso al serpentín evaporador inmerso en salmuera, en la que había unos moldes en donde el agua era congelada, figura 8. El cilindro r" a la salida del condensador, recibía el líquido condensado en los serpentines a 30°C y 8 atmósferas, que se mantenían en el calderín, al no haber ningún estrangulamiento entre ambos. El amoníaco condensado iba a un vaso distribuidor F, de donde se extraía a través de una válvula h que proporcionaba la pérdida de carga suficiente para que aguas abajo de la misma, en el evaporador, la presión fuese de 1 atmósfera. Completaban el ciclo un absorbedor donde se regeneraba la solución concentrada y una bomba N, figura 12, que la enviaba al calentador. Obsérvese la válvula de seguridad, B, figura 12, en la parte superior del rectificador y la precaución de que los vapores (de amoníaco) fuesen a un recipiente con agua, C, cerrado para evitar la dispersión del amoníaco.

Esta máquina fue fabricada en París en 1860, y se hicieron 5 modelos con unas capacidades de producción de 12 a 100 kg de hielo por hora. Un cuadro del folleto de Damàs Calvet citado, resume las prestaciones de las máquinas ofertadas por Carré.

La máquina de Carré fue rápidamente exportada a otros países y en algunos de ellos, como Alemania, Gran Bretaña y Estados Unidos fue construida y perfeccionada. Precisamente fue en el Sur de los Estados Unidos donde la máquina de absorción tuvo mayor difusión y aunque al principio su utilización se limitaba a fábricas de hielo y de cerveza, más adelante amplió su campo de aplicación. La máquina de absorción ejerció una clara hegemonía sobre las otras máquinas de refrigeración durante un periodo que alcanza hasta 1875 aproximadamente, y eso a pesar de que el diseño, cálculo y uso de esta máquina eran más complejos que en la de compresión. De hecho los cálculos y funcionamientos de la máquina eran en esa época en su mayor parte empíricos, y su conocimiento teórico empezará mucho más tarde con los trabajos de E. Altenkirch, autor también de la teoría de la refrigeración termoeléctrica en 1911. (Zeit für Phys, vol. 12, pág. 920), la tecnología más moderna de la refrigeración continua y que ha experimentado un gran desarrollo con la tecnología aeroespacial.

Cuando aparecieron otros refrigerantes distintos de los éteres y más tarde los motores eléctricos, la máquina de absorción tuvo que ceder el primer puesto a la de compresión. Sin embargo, no desapareció y todavía en 1919, de 55 factorías de frío existente en Florida 44 estaban equipadas con máquinas de absorción, y como se ha dicho, en la industria petrolífera, con disponibilidad de calor residual, ha permanecido.

Hacia 1930, la absorción volvió a tomar nuevo empuje, especialmente debido a los suecos Carl Munters y Baltazar von Platen que basándose en la ley de Dalton de las presiones parciales y utilizando hidrógeno, consiguieron a principios de los años 20, cuando todavía eran alumnos del Real Instituto de Tecnología de Estocolmo, eliminar la bomba del sistema y dar con ello impulso al refrigerador doméstico por absorción que tuvo una gran difusión y una particular aplicación en las zonas rurales sin electricidad ni gas ciudad, y últimamente para aprovechamiento de energía térmica de bajo nivel e, incluso, energía solar, con la utilización de la solución de bromuro de litio sustituyendo a la de amoníaco, introducida hacia 1940.

2.9.5 Criogenia

En el campo de las bajas temperaturas se debe citar de nuevo a von Linde, que en 1895 inventó el procedimiento de licuación del aire que lleva su nombre y Georges Claude (París 1870 - Saint Cloud 1960), ingeniero e industrial y miembro de la Académie des Sciences desde 1924. quien en 1911 realizó un procedimiento industrial para la destilación fraccionada del aire. Fue inventor prolífico y en 1910 inició el estudio de las descargas eléctricas en los gases aplicándolas a la iluminación, primero a los anuncios luminosos pero como en 1930 descubrió que al recubrir los tubos interiormente con una sustancia fluorescente daban luz blanca, su uso se difundió a la iluminación general. En 1917 puso a punto un procedimiento para la síntesis del amoníaco partiendo del aire. En 1926 inició el estudio del aprovechamiento de las diferencias de temperatura en el fondo del mar y construyó una central oceanotérmica, pero no resultó rentable. En la segunda guerra mundial prestó apoyo al gobierno de Vichy, por lo que al finalizar la 2ª guerra mundial en 1945, fue condenado a 5 años de prisión. Ambos, Linde y Claude, basándose en el efecto Joule-Thomson, construyeron maquinaria industrial para licuar el aire y otros gases *permanentes*.

Cabe citar también a Sir James Dewar (Kincardine on Forph 1842 - Londres 1927) Catedrático de física experimental en la Universidad de Cambridge y de Química en la Royal Institution de Londres, y suegro de Maxwell. En 1891 construyó una maquinaria para producir oxígeno líquido en cantidad y demostró el magnetismo del ozono y el oxígeno líquidos. Inventó el vaso que lleva su nombre, aplicación diáfana de los principios de la transferencia de calor por convección y radiación, y, entre otros, tiene el mérito de haber licuado por primera vez el hidrógeno en cantidades importantes en 1898 y solidificarlo en 1899. La licuación del Helio la consiguió Kamerlingh Onnes en 1908.

En relación a España, las técnicas criogénicas han sido esenciales para el transporte del gas natural por vía marítima y su difusión, a pesar de hallarse los yacimientos en países muy alejados. El gas natural se licúa, aproximadamente a -160°C , en Libia, Nigeria, etc., transportándose por vía marítima hasta Barcelona, Cartagena y Huelva, donde se almacena en grandes depósitos mantenidos a baja temperatura, regasificando el gas para su distribución y consumo.

Epílogo

Cabe señalar que al principio y durante muchos años, los escépticos opinaron que la refrigeración artificial jamás se convertiría en una industria importante. Además de las dificultades señaladas antes, existieron otras menos lógicas; por ejemplo, en 1877 A. W. Hoffman escribió en *The Journal of the Franklin Institute*:

La máquina de hielo, por más que mejoren y aumenten sus efectos, nunca podrán, en la zonas del norte, donde los inviernos generalmente son fríos y con escarcha, adquirir suficiente importancia como para siquiera suscitar demanda. Servirán meramente como valiosos sustitutos que podrán independizarnos de la variabilidad de las estaciones.

Esta profecía se basaba en creer la recolección de hielo en los lagos y ríos durante la temporada invernal para almacenarlo y usarlo en el verano sería siempre suficiente para cualquier necesidad frigorífica. A pesar de esta predicción, la práctica de acumular hielo ha desaparecido, mientras que la industria de la refrigeración y acondicionamiento de ambientes ha adquirido enormes proporciones en todo el mundo; por ejemplo en España es el sector en el trabajan más ingenieros. La máquina frigorífica y la bomba de calor, la misma máquina térmica utilizada en sentido contrario, han contribuido a elevar la calidad de vida de la humanidad de forma inimaginable por los pioneros de siglo XVIII.