

FRIO INDUSTRIAL
AYUDA DOCENTE



PRODUCCION DE FRIO

EVOLUCION

Enrique Torrella

Evolución histórica

Georg Wilhelm Richmann (1711 - 1753)

Enrique Torrella

➤ En 1748 el ruso G. Richmann (Георг Вильгельм Рихман) presentó, en la Academia Imperial de Ciencias de San Petersburgo, donde estaba a cargo del observatorio astronómico, un trabajo sobre experimentos con frío artificial. Colaborador de Mikhail Lomonosov, fue un pionero en el estudio de la electricidad y calorimetría, murió electrocutado por un rayo.




Enrique Torrella

Evolución histórica

William Cullen (1710-1790)

Tiberius Cavallo (1749-1809)

Enrique Torrella

➤ William Cullen fue un químico de la Universidad de Glasgow, profesor de Black, que entre otros trabajos estudió los procesos de evaporación. En 1748 evaporó éter etílico en vacío y en 1755 enfrió agua realizando vacío sobre ella. Fue el primer intento de un sistema de refrigeración "Of the Cold produced by Evaporating Fluids, and of some other Means of producing Cold" (enfriamiento de aire por evaporación de líquidos en vacío). Cullen no consiguió aplicar su descubrimiento a propósitos prácticos. En 1777, G rald Naime añadió ácido sulfúrico para acelerar el proceso.

➤ En 1781 Tiberius Cavallo en su "Philosophical Transactions of the Royal Society" describió su experimentación en producción de fri  mediante la evaporación de éter.





Enrique Torrella

Evolución histórica

La revolución del hielo. Frederic Tudor (1783-1864)

Enrique Torrella

➤ En 1805 Frederic Tudor fundó la Tudor Ice Company, y se hizo acreedor del sobrenombre de "rey del hielo" transportando este producto al Caribe, Europa e incluso hasta la India.



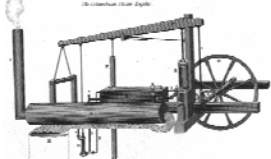

Enrique Torrella

Evolución histórica

PRECURSORES

Oliver Evans. (1755-1819)

- Oliver Evans fue quizá el primero en proponer el uso de ciclos cerrados en refrigeración en un tratado aparecido en Filadelfia (The Young Steam Engineer's Guide) en 1805, en la que describe un ciclo de refrigeración por compresión y evaporación de éter etílico. Se le ha denominado el inventor de la máquina de producción de frío aunque nunca construyó ninguna.
- Este principio fue utilizado con posterioridad por Perkins y Harrison. Además fue impulsor de la combinación de calor y potencia, inicio de la cogeneración, la cual fue patentada en 1784 por Sutton Thomas Wood.

5

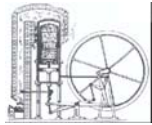
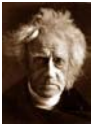
Enrique Torrella

Evolución histórica

LA MAQUINA STIRLING

REV. ROBERT STIRLING (1790-1878)

- Con su hermano, James, desarrolló lo que sería el motor Stirling.
- La máquina GENERADORA "Stirling" fue ideada por Robert Stirling en 1816. Desde su invención fueron desarrollados diferentes tipos con el objetivo de aumentar su potencia y eficiencia. No obstante, su producción fue limitada frente a la de Otto inventada en 1877 y la de Diesel de 1893.
- Este tipo de máquinas no se usaron en el campo del frío hasta 1834 en el que John Herschel las utilizó en ciclo cerrado para la fabricación de hielo.

6

Enrique Torrella

Evolución histórica

LA REFRIGERACION TERMOELECTRICA 1821

Thomas Jordan Seebeck; Jean Charles Athanase Peltier

- La historia de la termoelectricidad, entendiendo como tal la transformación directa de energía térmica en eléctrica o la recíproca de eléctrica a calor, tiene su origen en 1821 con la observación, por parte de Thomas Jordan Seebeck (1770 - 1831), del desvío de una aguja imantada en la proximidad de un circuito, integrado por dos conductores diferentes, el cual era calentado parcialmente. En 1821, Seebeck demostró la existencia de una diferencia de potencial en las uniones de dos metales cuando se mantenían a diferente temperatura. El hecho que un año antes, Hans Christian Oersted hubiese mostrado la incidencia sobre una aguja imantada de una corriente eléctrica, condujo a Seebeck a considerar la magnetización como un efecto del gradiente térmico (pensaba que el magnetismo terrestre se debía a la diferencia de temperatura entre el Ecuador y los polos), en lugar de optar por la explicación de una generación de corriente eléctrica debida al campo de temperatura. El empujamiento de Seebeck en su teoría inicial impulsó la entrada de la termoelectricidad en el campo de la generación eléctrica industrial, congelando su desarrollo.
- El siguiente avance cualitativo se produce en 1834, debido a los trabajos de Jean Charles Athanase Peltier (1785 - 1845), el cual puso de manifiesto el efecto térmico asociado al paso de una corriente eléctrica a través de la unión de dos conductores diferentes. Como en el caso de Seebeck, la explicación dada por Peltier a los resultados de su experimentación no fue la correcta, ya que pensó haber encontrado un fallo a la ley de Ohm en el dominio de las bajas intensidades. No es hasta 1838 que Emil Lenz mostró su verdadero potencial, logrando la congelación de una gota de agua, y su fusión por mera inversión del sentido de circulación eléctrica.
- El último de los fenómenos termoelectrónicos tiene su descubridor en William Thomson (Lord Kelvin) en 1851. En contraposición a los anteriores que requieren la presencia de dos materiales, Thomson mostró la existencia de un gradiente térmico asociado al paso de una corriente eléctrica en un único material, el fenómeno trase como consecuencia un calentamiento (o enfriamiento) de naturaleza diferente a la que se genera por efecto Joule. La incidencia de Thomson en el campo termoelectrónico no se reduce a la detección del tercer fenómeno, sino que se amplía con la obtención de las relaciones que ligun todos ellos.





7

Enrique Torrella

Evolución histórica

JHON LESLIE. (1766 -1832)

MICHAEL FARADAY (1791-1867)

- JHON LESLIE; Matemático y físico, profesor en la Universidad de Edimburgo, sus trabajos versaron sobre análisis matemático y geometría. En el campo de la física, ideó un termómetro diferencial, un fotómetro y un higrómetro y desarrolló un método para obtener hielo artificial. En 1804 publicó "An Experimental Inquiry into the Nature and Propagation of Heat", y en 1823 construyó un aparato capaz de producir la congelación de agua por evaporación de un líquido.
- MICHAEL FARADAY; Científico e inventor, descubrió que comprimiendo y licuando amoníaco podía enfriar aire cuando el amoníaco líquido se evaporaba. Trabajo simultáneamente en diversos campos, como licuefacción de gases comunes, estudio del electromagnetismo, teoría de la propagación de la luz, electroquímica...





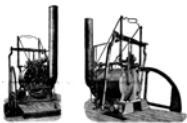
8

Enrique Torrella

Evolución histórica

Richard Trevithick. (1771 - 1833)

- Richard Trevithick; en 1828 publica un ensayo sobre The Production of Artificial Cold. Inventor e ingeniero de minas, pionero del ferrocarril, ideó y construyó una locomotora a vapor de alta presión, que fue instalada en País de Gales (1803).

9

Enrique Torrella

Evolución histórica

Jacob Perkins (1766 - 1849)

- A partir de los trabajos de Evans y Trevithick, fabricó un compresor y obtuvo la primera patente de una máquina de compresión simple, patente británica nº 6662 en 1834, descrita como "Improvement in the Apparatus and Means of Producing Ice and in Cooling Liquids" con vistas a la fabricación de hielo. En la descripción para la obtención de la patente, Perkins hablaba de su máquina como "un aparato o medios mediante los cuales estoy capacitado para 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". Los fluidos refrigerantes utilizados eran éter sulfúrico y metílico.
- "Ya saben fabricar hielo", dicen que comentó el Papa Gregorio XVI al enterarse del invento de Perkins, "eso es meterse en el terreno de Dios. Ahora van a llevar su irreverencia blasfema hasta el extremo de fabricar sangre".




10

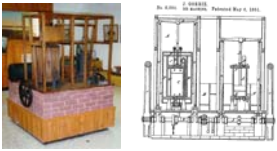
Enrique Torrella

Evolución histórica

MAQUINA DE AIRE

DR. John Gorrie (1803 - 1855).

- DR. JOHN GORRIE: diseño la primera máquina de aire con destino al acondicionamiento de aire en un hospital de Florida. En 1844 diseñó una máquina de ciclo abierto, que funcionaba con aire comprimido, para la producción de hielo y el enfriamiento del aire para el uso del hospital.
- En abril de 1848 su máquina fue construida en Cincinnati por la Cincinnati Iron Works y en octubre de ese mismo año pudo realizar demostraciones de su funcionamiento. Su publicación en "Scientific American" es de 1849, en 1850 recibió la patente inglesa 13 124, y en 1851 la U. S. Patent 8080 "Improved process for the artificial production of ice".
- Las máquinas de aire siguieron su desarrollo en base a los trabajos de Alexander Carnegie Kirk (1830-1892) con sus máquinas de ciclo cerrado, el cual presentó un trabajo en el "Institute of Civil Engineers" bajo el título "The Mechanical Production of Cold" en 1874. En 1877 Leicester Allen (1832-1912) construyó otra máquina en ciclo cerrado de alta presión (15 bar) y consiguió las patentes U.S. Nº 193 631, 237 359 y 237 360. Otras realizaciones se deben a Franz Windhausen (1829-1904) y Paul Giffard (1837-1897) Patente inglesa Nº. 627 cuya exhibición tuvo lugar en la exposición de París de 1877, Patente española nº 257 (1879).

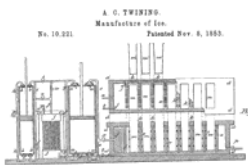
11

Enrique Torrella

Evolución histórica

Alexander C. Twining 1856

- ALEXANDER C. TWINNING (1801 - 1884). La primera utilización del CO₂ como fluido frigorígeno fue descrita por él en el año 1850. En base a las ideas de Perkins comenzó a proyectar y construir plantas de fabricación de hielo, usando éter etílico como refrigerante y llegando en 1853 a obtener 725 Kg diarios de hielo, también utilizó éter sulfúrico hacia 1856. Entre 1853 y 1874 obtuvo las patentes 10 221 "Manufacturing Ice", 34 018 "Improvement in apparatus for cooling and freezing", 31 993, 35 051, 121 975, 146 620 y 146 621. Fué competidor tanto de J. Harrison como de F. Carré.

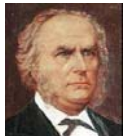
12

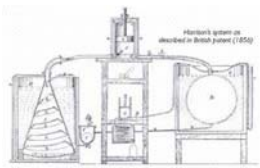
Enrique Torrella

James Harrison 1857

Evolución histórica

- JAMES HARRISON (1816 - 1893). En base a los trabajos de Perkins construyó una máquina de compresión que trabajaba con éter como refrigerante. En 1857 la patentó, esta máquina fabricaba tres toneladas diarias de hielo. 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 & Thunders, en Berdigo, Victoria, en 1860.
- En 1873 fue galardonado con la medalla de oro en la Exhibición de Melbourne. Ese mismo año envió un cargamento refrigerado de carne a Inglaterra, desafortunadamente el sistema de refrigeración se averió arruinándolo. Su trabajo tendría éxito colaborando con Thomas Mort y Eugène Nicolle propietarios de la "Fresh Food and Ice Company" en Sydney.





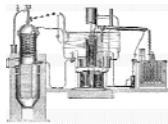
Enrique Torrella

13

**La máquina de absorción
Ferdinand y Edmond Carré**

Evolución histórica

- A partir de los experimentos de Edward Nairne, John Leslie y John Vallance (este último con patentes inglesas N.º 4884 and 5001, con ácido sulfúrico) se sentaron las bases de las máquinas de absorción pero fue Edmond Carré (1833 - 1894) el primero en comercializarlas con la mezcla ácido sulfúrico-agua, el dispositivo tenía como finalidad el enfriamiento de líquidos. Por su parte su hermano Ferdinand (1824 - 1900) sustituyó el ácido sulfúrico por amoníaco.
- La presentación de esta máquina en la exposición universal de Londres, provocó una gran conmoción, no sólo por el hecho de la "fabricación industrial del frío", sino también por la paradoja de utilizar calor en dicha producción. El apellido CARRE había entrado en la historia de la producción de frío como uno de sus pilares básicos, tanto por su aportación de un método de producción, como por ser los primeros en utilizar amoníaco como fluido refrigerante.
- La obtención, en 1860, de la patente USA 30 201 "Improvement in apparatus for freezing liquids" por parte de Ferdinand Carré (máquina de absorción de ciclo cerrado), inició el despegue de la producción del frío artificial.

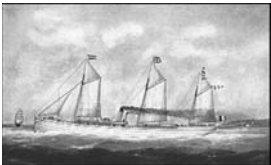

Enrique Torrella

14

CHARLES ALBERT ABEL TELLIER (1828-1913)

Evolución histórica

- Su máquina de compresión con refrigerante éter metílico obtuvo en 1864 la patente inglesa N.º 387.
- En 1876 transportó, a bordo de su barco "Le Frigorifique", una carga de carne desde Buenos Aires a Rouen.

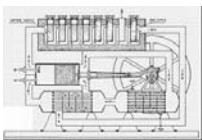
Enrique Torrella

15

**FRANZ WINDHAUSEN (1829-1904)
1868**

Evolución histórica

- Este alemán, ya mencionado con anterioridad, diseñó una máquina de aire en ciclo cerrado en 1868, a la cual podía ser movida por vapor, agua o viento y producía de 100 a 1000 libras de hielo por hora. Windhausen construyó más de cien unidades en Europa y Estados Unidos.
- En 1886 diseñó una fábrica de hielo, servida por una instalación de compresión con dióxido de carbono como fluido refrigerante, patente inglesa 2864, la cual fue adquirida por J & E Hall de Inglaterra.

Enrique Torrella

16

Evolución histórica

THADDEUS SOBIESKI COULINCOURT LOWE (1832-1913)

➤ Este aeronauta e inventor también utilizó el dióxido de carbono, patentando una máquina de compresión (patente inglesa 952 del año 1867, y patentes USA 63 404 (1867) "Improvement in apparatus for the manufacturing of ice", 63 405 (1867) "Improved apparatus for condensing carbonic acid, and for drawing off and applying the same for cooling and freezing" y 68 413 (1867) "Improved mode of manufacturing ice"). Construyó una máquina para fabricación de hielo en 1869 en Jackson (Missisipi) y otra para el transporte de carne en el barco "William Tabor". También construyó calderas y equipos de para gasificación de coque.

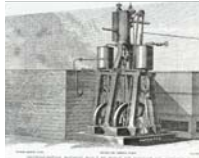



17 Enrique Torrella

Evolución histórica

David Boyle (1837-1891) (1872)

➤ En 1872 diseña la primera máquina de compresión con amoníaco como fluido refrigerante, la cual fue fabricado hasta 1905. Su compresor de amoníaco obtuvo la patente U.S. N° 128 448 "Improvement in ice machines". Con la ayuda de R.T. Crane fabricó tres compresores de amoníaco uno para el King Ranch en Texas, otro para Austin y el tercero para el Philadelphia Centennial Exposition de 1876. Fundó su propia compañía la "Boyle Ice Machine Co."

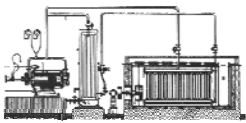



18 Enrique Torrella

Evolución histórica

Raoul Pictet (1842-1904)

➤ En 1874 el profesor suizo Raoul Pictet diseñó una máquina de compresión que utilizaba dióxido de azufre como fluido refrigerante, para evitar el peligro derivado de este fluido se utilizaba refrigeración indirecta, enfriando glicerina, la cual era bombeada a su punto de aplicación, una pista de patinaje.





19 Enrique Torrella

Evolución histórica

Thomas Sutcliffe Mort (1816-1878) Eugene Dominique Nicolle (1824-1909)

➤ Nicolle, ingeniero francés, en cooperación con el industrial Mort inventaron y patentaron gran cantidad de equipamiento, 12 patentes en diez años desde 1875, con destino al transporte de carne congelada desde Australia hacia Inglaterra, en 1879 transportaron en el "Stratheleven" 40 toneladas de carne.





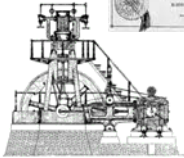
20 Enrique Torrella

Karl Paul Gottfried von Linde (1842- 1934)

➤ Profesor de teoría de máquinas en la "Technische Hochschule" de Munich, fundó en Wiesbaden en 1879 una sociedad para explotar su patente de máquina para fabricación de 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.

➤ Von Linde es uno de los grandes precursores de la utilización industrial del frío, utilizando tanto dióxido de carbono como amoníaco. En 1876 obtuvo la patente británica nº 1468, en 1877 una patente del German Imperial y otra americana en 1880. Linde también construyó el primer equipo de climatización doméstica para un rajá indio.





Enrique Torrella

JOEL TIFFANY (1811-1893)

➤ JOEL TIFFANY con su "Summer and Winter Car" US patente Nº 193 357 "Improvement in Refrigerator Cars" fue el primer dispositivo refrigerado por hielo en el mercado. Si bien el mismo año Gustavus Franklin Swift (1839-1903) y el ingeniero Andrew Chase desarrollaron un diseño similar.




Enrique Torrella

WALTHER HERMANN NERNST (1864-1941) ALBERT VON ETTINGHAUSEN (1850-1932)

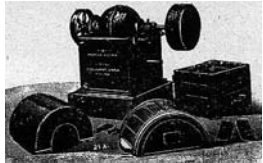
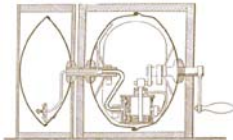
➤ El efecto Ettinghausen. Nernst y Ettinghausen descubrieron que cuando sobre un conductor o semiconductor se ejercía un campo magnético y normalmente a éste un campo eléctrico, se producía un gradiente térmico en la tercera coordenada espacial. Este efecto no ha tenido, hasta el momento, relevancia industrial.




Enrique Torrella

LA MAQUINA "AUDRIFFEN" 1894

➤ Patentada por el monje MARCEL AUDIFFREN en 1894. Su uso inicial era el enfriamiento de líquido, y podía ser movido a mano o por motor. Hacia el final de los años 1920 General Electric modificó el diseño original para obtener la primera nevera hermética comercial con utilización de dióxido de azufre.

Enrique Torrella

Evolución histórica

LA MÁQUINA DE EYECCION

CHARLES PARSONS; MAURICE LEBLANC

La primera realización parece se debe al experimento de Leslie, el cual logró congelar agua líquida por evaporación parcial, sometiéndola a un vacío. Sin embargo, no es hasta los trabajos de CHARLES PARSONS (1854-1931) en 1901 y de MAURICE LEBLANC (1857 - 1923) en 1909, en el que se utiliza como "absorbedor" un chorro de vapor motriz, mediante el cual, y por efecto Venturi, se eliminan los vapores producidos en la zona de baja temperatura.

En el posterior desarrollo de las máquinas de eyección es conveniente resaltar dos realizaciones: La máquina de Westinghouse-Leblanc (con utilización de salmuera), en la que el efecto Venturi provoca un alto vacío en evaporador; la salmuera enfriada se envía a la zona de utilización, donde sufre un calentamiento, retornando posteriormente al evaporador en el que hace su entrada en forma de una fina lluvia, destinada a aumentar la superficie de contacto y la máquina de Joss-Gensecke, cuya particularidad radica en la introducción de una cantidad regulable de aire, con lo que se limita el vacío.





25

Enrique Torrella

Evolución histórica

REFRIGERADOR DOMESTICO

El primer antecedente de este tipo de dispositivo es la patente obtenida en 1803 por Thomas Moore, el cual no era sino una caja dentro de otra para almacenar alimentos con ayuda de hielo, al cual denominó "refrigerador".

Intentos posteriores se deben a Thomas Elkins (1879 U.S. patente 221 222), John Standard (1891 U.S. patente 455 891) y J.M. Larsen (1913) que construyó un refrigerador movido manualmente.

El primer refrigerador doméstico, destinado a la fabricación en serie, parece ser que fue el "Domestic (DOMestic Electric Refrigerator)" de Fred W. Wolf presentado en Chicago, en 1913 (\$900).

En 1918 Kelvinator produce su primer refrigerador doméstico, inventado por Nathaniel B. Wales, para el mercado americano, vendiendo 67 unidades ese año. En el año 1919 apareció en el mercado la marca "Frigidaire" y el refrigerador GE Monitor Top lo hace en 1927.




26

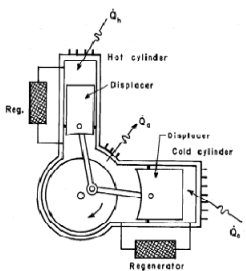
Enrique Torrella

Evolución histórica

CICLO "VUILLEUMIER" 1918

El dispositivo Vuilleumier fue patentado en 1918 por RUDOLPH VUILLEUMIER, su funcionamiento es similar al de la máquina Stirling, excepto que utiliza "un compresor térmico" en lugar de uno de tipo mecánico, es decir, el Vuilleumier es al Stirling lo que la absorción es a la máquina de compresión. Mejoras posteriores se deben tanto a Vannevar Bush (1938) como a K.W. Taconis (1951).

Esta máquina se está desarrollando en Japón por Sanyo junto a la Japan Gas Association con destino a su aplicación como bomba de calor en sistemas de climatización.



27

Enrique Torrella

Evolución histórica

LAS MÁQUINAS DE ABSORCIÓN

BALTZAR VON PLATEN; CARL MUNTERS

VON PLATEN (1898-1984) junto a CARL MUNTERS (1897-1989), fueron los inventores de la máquina de absorción a "gas" (Domestic) en 1922 en el Royal Institute of Technology de Estocolmo. Se trata de una máquina monopresión con amoníaco como refrigerante, agua como absorbente e hidrógeno como fluido "inerte".

La producción de esta máquina se produjo en 1923 por parte de AB Artic, la cual fue adquirida por Electrolux en 1925. La empresa Servel compró los derechos de producción en Estados Unidos en 1925.



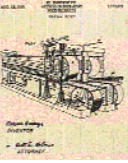

28

Enrique Torrella

Evolución histórica

Clarence Birdseye (1886-1956)

- **BIRDSEYE** (1886-1956) durante su estancia en Labrador (1912) dedicado al comercio de pieles observó la práctica de la congelación de alimentos, lo que le dio la idea de la congelación de alimentos envasados al por menor.
- Fundó su propia compañía la "General Seafoods Company" y en 1925 construyó un túnel de congelación "Quick Freeze Machine" que es una de sus numerosas patentes en el campo de la congelación de alimentos.

Enrique Torrella

29

Evolución histórica

REFRIGERACION JOHN MALONE (1880- 1959)

- John Malone construyó un generador de 50 hp en 1925 con aporte calorífico por combustión de carbón que utilizaba agua como fluido de trabajo, su idea cayó en el olvido (su patente fue comprada y archivada) y no fue retomada hasta los años 70, en que John Wheatley desarrolla equipos de producción de frío basados en el ciclo de Malone.



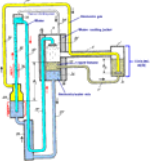

Enrique Torrella

30

Evolución histórica

ALBERT EINSTEIN (1879-1955) LEÓ SZILÁRD (1898-1964)

- Einstein y su discípulo Szilárd, motivados por la muerte de una familia como consecuencia de las emisiones tóxicas de un frigorífico de gas, patentaron tres nuevos tipos de refrigeradores domésticos de absorción U.S. Patente 1 781 541 (1930), patentes que fueron adquiridas por Electrolux.
- Estas máquinas de única presión, trabajan con amoníaco como refrigerante, agua como absorbente y butano como gas de igualación de presión, una de las variantes es muy similar a la máquina de Platen-Munters.
- Sin embargo, el frigorífico de Einstein nunca llegó a comercializarse, en gran medida a consecuencia de la depresión económica de la época y por la invención de los clorofluorocarbonos.





Enrique Torrella

31

Evolución histórica

LAS MÁQUINAS DE ADSORCIÓN

- La aparición de este método de producción de frío se produce hacia la primera mitad del siglo XX. La base de funcionamiento son los efectos térmicos que acompañan a la mezcla y separación de una gas sobre un sólido, cuya característica es la de ser un proceso discontinuo y por tanto de carácter intermitente.
- En 1927 Copeland en unión con Silicagel Corp. construyeron una máquina de adsorción con silicagel y dióxido de azufre como refrigerante, la cual fue introducida por Safety Car Heating and Lighting Co. en el enfriamiento de vagones ferroviarios. Los equipos perdían prestaciones con el tiempo debido al descenso en la capacidad de adsorción. Posteriormente la firma Carrier utilizó la mezcla agua-silicagel.
- Dimitar Tchernev fue el primero en introducir el par de trabajo zeolita-agua en sistemas cerrados de refrigeración por adsorción, fundador de la compañía Zeopower Company en 1978. En 1980, Jaques Chiral desarrolló un sistema experimental con paneles solares.
- La utilización de energía solar a baja temperatura parece ser la principal ventaja de estas máquinas con respecto a las de absorción.

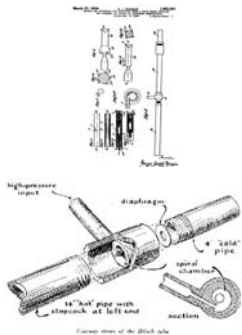



Enrique Torrella

32

EL ENFRIAMIENTO VORTEX 1928

- El tubo vortex se inventó, casi por accidente, en 1928, por GEORGES JOSEPH RANQUE, un estudiante francés de física durante una experimentación con una bomba vortex, al notar que salía aire frío por un extremo y caliente por otro. Ranque puso en marcha una compañía para explotar, sin éxito, su potencial comercial. A él se debe el trabajo "Experiments on Expansion in a Vortex with Simultaneous Exhaust of Hot and Cold Air" publicado en Le Journal De Physique, et le Radium (Paris), vol 4, June 1933, pp 1125-1130. También la patente US 1952281.
- Durante la segunda guerra mundial, el ejército alemán descubrió, en la Francia ocupada, algunos de los primeros modelos experimentales, lo que sirvió de base al físico RUDOLF HILSCH (1903-1972) que continuó su desarrollo, dando lugar a un equipo denominado Wirbelröhre (literalmente, tubo vortex). Suvo es el trabajo "The Use of the Expansion of Gases in A Centrifugal Field as Cooling Process" publicado en The Review of Scientific Instruments, vol. 18(2), 108-1113, (1947).
- Los trabajos en este sistema no prosperaron por tener eficiencias menores a los del sistema convencional por compresión de vapor. En la actualidad su campo de aplicación está muy restringido al enfriamiento localizado.



Enrique Torrella

33

THOMAS MIDGLEY (1889-1944)
ALBERT L. HENNE (Ethyl Corp.)
CHARLES F. KETTERING (G.M.) (1876 - 1958)

- La necesidad de fluidos no tóxicos ni inflamables con destino a refrigeración doméstica con condensación por aire, llevó al equipo integrado por MIDGLEY, HENNE, y KETTERING (G.M.) al desarrollo de los posteriormente denominados CFC. Parece ser que T. Midgley en la presentación del primer CFC (R-12) tomó una bocanada de vapor y con ella apagó una vela, demostrando las características que se pretendían conseguir.



Enrique Torrella

34

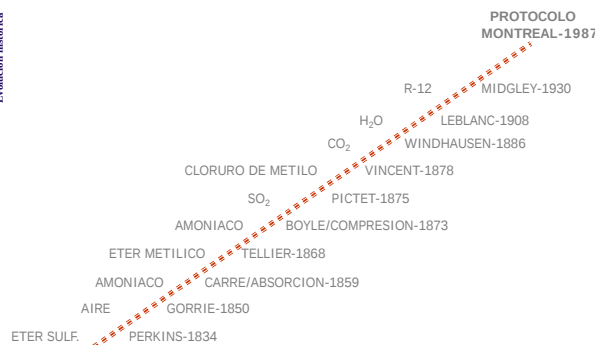
CRONOLOGIA FLUIDOS

AÑO	REFRIGERANTE	COMPOSICION QUIMICA
1830s	CAUCHINA	
1830s	ETER SULFURICO	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_3$
1840s	ETER METILICO (R-E170)	CH_3OCH_3
1850	ACIDO SULFURICO / AGUA	$\text{H}_2\text{SO}_4 / \text{H}_2\text{O}$
1856	ALCOHOL ETILICO	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$
1859	AMONIACO / AGUA	$\text{NH}_3 / \text{H}_2\text{O}$
1860	CHLOROFORMO	
1865	DIOXIDO DE CARBONO	petrol ether and naphtha (hydrocarbons)
1865s	AMONIACO (R-717)	NH_3
1865s	METILAMINA (R-630)	$\text{CH}_3(\text{NH}_2)$
1865s	ETILAMINA (R-631)	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{NH}_2)$
1870	METILFORMATO (R-611)	HCOOCH_3
1875	DIOXIDO DE AZUFRE (R-764)	SO_2
1878	CLORURO DE METILO (R-40)	CH_3Cl
1870s	CLORURO DE ETILO (R-160)	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$
1891	ACIDO SULFURICO MEZCLADO CON HIDROCARBUROS	$\text{H}_2\text{SO}_4, \text{C}_2\text{H}_5, \text{C}_3\text{H}_7, (\text{CH}_3)_2\text{CH-CH}_3$
1900s	BROMURO DE ETILO (R-160B1)	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br}$
1912	TETRACLORURO DE CARBONO	CCl_4
1912	AGUA (R-718)	H_2O
1920s	ISOBUTANO (R-600a)	$(\text{CH}_3)_2\text{CH-CH}_3$
1920s	PROPANO (R-290)	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$
1922	DIETILENE (R-32/30)	$\text{CH}_3\text{CH=CH}_2$
1923	GASOLINA	hydrocarbons
1925	TRILENE (R-1120)	CHCl=CCl_2
1926	CLORURO DE METILO (R-30)	CH_3Cl
1940s	CFC	$\text{C}_2\text{F}_5\text{Cl}$

Enrique Torrella

35

EVOLUCIÓN FRIGORÍGENOS HITOS HISTÓRICOS



Enrique Torrella

36

Desarrollo de los CFC

- 1931 CFC-12 introducción comercial.
- 1932 CFC-11 introducción comercial. En 1933 Carrier Engineering Co. lo aplica a comp. centrifugos como Carrene #2.
- 1933 CFC-114 introducido por Carrier en centrifugos
- 1934 CFC-113 introducido por Carrier en centrifugos como Carrene #3.
- 1935 CFC-21 usado en neveras domésticas por Crosley Radio Corp.
- 1936 HCFC-22 introducción comercial.
- 1943 CFC-11 y 12 introducción como propelente en aerosoles.
- 1945 CFC-13 introducción para bajas temperaturas.
- 1950 R-500 (azeotropo de R-12/R-152) introducido por Carrier como Carrene #7.
- 1956 La nomenclatura Dupont pasa a ser de uso general.
- 1962 R-502 (azeotropo de R-22/R-115) introducción comercial.
- 1974 (Sept) Convención de la American Chemical Society in Atlantic City. Presentación de las teorías de Rowland-Molina.

37

Enrique Torrella

FREDERICK MCKINLEY JONES (1893-1961)

- En 1935 Jones produce un sistema de refrigeración automático para transporte frigorífico por carretera, sistema que posteriormente se adaptó en otros tipos de transporte como el ferroviario y marítimo.



38

Enrique Torrella

WILLIS CARRIER (1876 – 1950) (1945)

- Además de las aplicaciones en acondicionamiento de aire, la firma CARRIER debe ser considerada por:
- La introducción del compresor centrífugo y con éste la utilización de nuevos fluidos adaptados a este tipo de compresores.
- La introducción, en 1945, de máquinas de absorción con la mezcla agua-bromuro de litio, de capacidades en el rango de 100 a 700 toneladas de refrigeración, alimentadas con vapor a baja presión. Si bien hay que resaltar que en 1940 la empresa SERVEL las fabricaba (15 a 35 toneladas de capacidad).



39

Enrique Torrella

LA REFRIGERACION TERMOACUSTICA

- Sólo desde 1950 se contempla la posibilidad de utilizar energía acústica para producir frío, calor o incluso energía mecánica.
- En 1993 Steven Garrett (Universidad Pennsylvania) fue galardonado con el premio Rolex a su desarrollo de un equipo de refrigeración termoacústica que se utilizó en el "Discovery" (Enero 1992). Patente N° US5647216 (Julio 1997).
- Un segundo equipo fue construido por Tom Hofer con materiales comerciales.



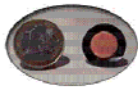
40

Enrique Torrella

Evolución histórica

ENFRIAMIENTO TERMOIÓNICO 1957

- Enfriamiento termoiónico. Como en muchos casos, la base de partida se encuentra en los dispositivos generadores, y en este caso el inicio se debe a un estudio experimental de T. A. Edison en 1885, en el cual situó dos electrodos planos en el vacío, observando el paso de corriente eléctrica cuando los electrodos se mantenían a diferente temperatura. El proceso inverso de enfriamiento, es decir la obtención de al menos una temperatura baja mediante el paso de corriente no ha sido estudiado hasta que recientemente la empresa Borealis ha desarrollado componentes específicos, razón por la que también se le denomina "Refrigerador Borealis".
- Aunque en principio pueden obtenerse temperaturas del orden de los -80°C, el objetivo actual es el desarrollo de refrigeradores domésticos, para los cuales, según el fabricante, se tienen mejores COP que con máquinas de compresión.

41 Enrique Torrella

Evolución histórica

Dr. James E. Lovelock (1919 -)

- En 1957, Lovelock inventó el detector de captura de electrones (ECD), dispositivo capaz de detectar infimas cantidades de compuestos químicos en la atmósfera, tales como derivados halogenados y óxidos de nitrógeno. En 1970 realizó una campaña de detección de CFC sobre Irlanda y en 1973, con ayuda del ECD se determinó la existencia de los CFC a lo largo del Atlántico, desde el Antártico al paso de Calais. Las cantidades de CFC eran importantes en zonas industrializadas. Estos descubrimientos fueron la base de las teorías de destrucción del ozono atmosférico.
- En los años 70, se convirtió en uno de los "gurús" del movimiento ecologista, tras proponer que la Tierra actúa como un organismo (Gaia), que se autorregula para mantener la vida. Pero su último libro, "La venganza de la Tierra", rompe con la ortodoxia verde al defender la estrategia nuclear frente al peligro del calentamiento global.




42 Enrique Torrella

Evolución histórica

Acción sobre el Ozono. S. ROWLAND y M. MOLINA

- En 1974 daban cuenta de los resultados de sus investigaciones sobre la acción de los CFC sobre la capa de ozono. Esta línea de investigación les valió, junto a PAUL CRUTZEN (1933-), la obtención del premio Nobel en 1995.




43 Enrique Torrella

Evolución histórica

Acción sobre el Ozono 1985

- El primer investigador que comprobó los efectos que se atribuyen a los CFC sobre el debilitamiento del ozono atmosférico fue S. Chubachi, con sus medidas durante los años 1982/83 en la base antártica japonesa de Syowa
- J. Farman, B. Gardiner y J. Shanklin científicos ingleses de la base Halley Bay cuya publicación es de 1985.




44 Enrique Torrella

Revitalización R744 Gustav Lorentzen (1915-1995)

- ❖ En 1990 el profesor Lorentzen patentó una aplicación del dióxido de carbono como refrigerante en instalaciones para automoción en régimen transcrítico, el interés que ha vuelto a despertar la utilización del CO₂ (R-744) ha ido creciendo continuamente, lo cual queda reflejado en el número de comunicaciones presentadas en los prestigiosos congresos "Lorentzen" organizados por el Instituto Internacional del Frío.
- ❖ Las ideas de Lorentzen se basan en la multiplicación de presuntos efectos nocivos medioambientales debidos a los refrigerantes halocarbonados, y la falta de lógica que supone, en su opinión, su sustitución por otra familia de halocarbonos sintéticos como son los HFCs, por lo que es posible que haya llegado el momento de los fluidos refrigerantes "naturales", ya existentes en la biosfera en cantidades significativas.



Enrique Torrella

45

Enfriamiento por láser

- La idea de utilizar láser para el enfriamiento es del alemán Peter Pringsheim (1881 – 1963) en 1929, en base al principio de fluorescencia; cuando la luz es absorbida, excita los electrones de las moléculas, los electrones deben eliminar esta energía para volver a su estado estable. Uno de las vías de pérdida de energía es mediante la emisión de fotones de luz fluorescente. Si la energía emitida como fluorescencia excede a la a la absorbida, el material se enfría. Esta cantidad de energía "extra" se extrae de las vibraciones moleculares del material.
- El inventor del enfriamiento vía láser es STEVEN CHU (1948-) el cual recibió el premio Nobel de Física de 1995 junto a Claude Cohen-Tannoudji y William D. Phillips por su "Development of methods to cool and trap atoms with laser light".
- En 1995 Richard Epstein y otros en el laboratorio de los Alamos construyeron un refrigerador basado en el principio de fluorescencia, el LASSOR (Los Alamos Solid - State Optical Refrigerator), este aparato tiene aplicaciones como refrigerador de cámaras infrarrojas en satélites, y no parece en la actualidad competitivo frente al sistema "standard" de compresión en aplicaciones domésticas.



Enrique Torrella

46

Refrigeración magnética

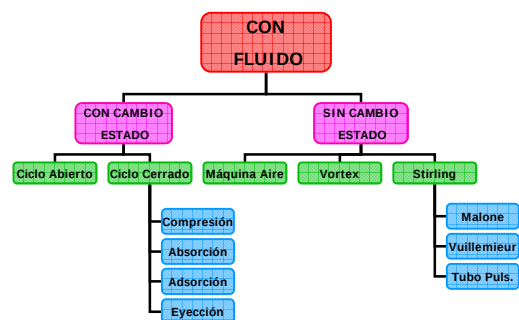
- El efecto magneto-calórico fue descubierto en 1881 por E. Warburg, mientras que la explicación del fenómeno se retrasa a 1918 con Weiss and Picard. Los antecedentes de este método son los generadores magnetocalóricos de NIKOLA TESLA (1856-1943) en 1890 y THOMAS ALBA EDISON (1847 – 1931) en 1892.
- En 1997 Karl Gschneider y Vitalij Pecharsky con Astronautics Corporation of America construyeron un prototipo demostrativo de refrigerador magnético. Con posterioridad han investigado en nuevos materiales tales como aleaciones de gadolinium-silicon-germanium. El efecto magnetocalórico en estos materiales es 10 veces mayor que en los de origen.



Enrique Torrella

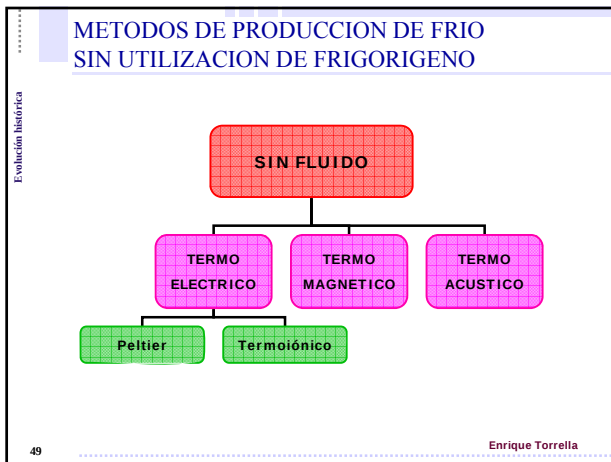
47

MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE FRÍO UTILIZACIÓN DE FRIGORIGENO



Enrique Torrella

48



Evolución histórica

ESTADO DEL ARTE

Método	Estado del arte Tecnología	Coste instalación relativo HFC's	Eficiencia respecto HFC's	Disponibilidad comercial	Comentarios
Compresión con R-22	Tecnología más que probada	Mayor	Mejor	Si	Atención toxicidad y límites ambientales
Compresión con hidrocarburos	Utiliza la tecnología de los HFC	Similar	Algo mejor	Si	Problemas de seguridad
Compresión con R-744	Tecnología de compresión modificada	Mayor	Menor	Solo casadas	Muy alta presión
Ciclo de aire	Conocida	Mayor	Mucho menor	AA, Hoses, etc.	No aplicada en instalaciones fijas
Tubo Vortex	Conocida	Menor	Mucho menor	Aplicaciones baja potencia	No aplicada en instalaciones grandes
Absorción	Tecnología probada	Mayor	COP muy inferior	Si	Aprovechamiento energía residual
Adsorción	Comienzos	Mayor	Mucho menor	Existen instalaciones	Energía solar
Termoiónica	Conocida	Mayor	Muy inferior	Aplicaciones baja potencia	Limitados por materiales disponibles
Termoiónico	Inicio	Desconocido	Sin probar	No	
Magnético	Inicio	Mayor	Mayor	No	Problemas con coste de materiales
Sólidos y derivados	Inicio campo refrigeración	Mayor	Mayor	No	En investigación
Termoacústico	Inicio	Mayor	Menor	No	En investigación
Vibratorio	Inicio	Similar	Menor	No	En investigación
Moléculas	Inicio	Desconocido	Menor	No	En investigación

Enrique Torrella

50