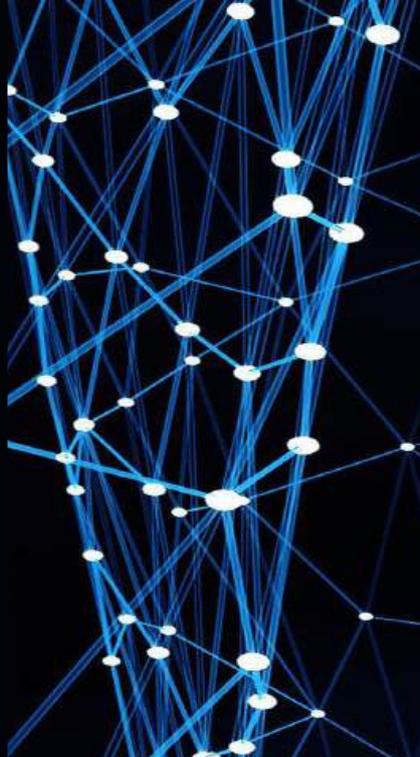


Guía del Frigorista 4.0



CÓMO AFRONTAR LOS RETOS DEL FUTURO DE LA REFRIGERACIÓN



GUÍA DEL FRIGORISTA 4.0

Si estás leyendo esta guía es porque **eres un frigorista consciente del cambio que se avecina** en el mundo de la refrigeración y la climatización. El Reglamento europeo CE 517/2014, conocido por todos como **Reglamento "F-Gas"** está cambiando el mundo de la refrigeración tal como lo conocíamos. Estos cambios se están produciendo en primer lugar en Europa, pero pronto llegarán también a los países de Latinoamérica.

Si el **Protocolo de Montreal (1989)** y la finalización del empleo de los gases clorados supusieron una gran transformación en la tecnología y el uso de las instalaciones frigoríficas, la aplicación de los acuerdos del **Protocolo de Kioto (1997)** y el Reglamento F-Gas (2014) están generando una transformación sin precedentes en nuestro sector. Ya no solo se trata de un cambio de los fluidos refrigerantes, sino que este cambio deberá ir acompañado necesariamente de una modificación radical de la tecnología frigorífica. La vuelta al empleo de los **refrigerantes naturales** como el CO₂ o el NH₃, o los nuevos compuestos HFO (Hidro Fluoro Olefinas), implican cambios en las presiones de trabajo, en el manejo de los aceites lubricantes y en la gestión de la peligrosidad, puesto que algunos de ellos son tóxicos e inflamables.

El **objetivo de esta guía** es mostrarte el **rumbo** que muy probablemente va a tomar el sector de la refrigeración en los próximos años, las **tecnologías** con más probabilidad de consolidarse en el mercado y los **conocimientos y habilidades** que debe poseer un ingeniero o técnico frigorista para triunfar en este mundo en constante evolución. Vamos a realizar un recorrido por la historia de la refrigeración, para conocer de dónde venimos y hacia dónde vamos, cuáles son los nuevos refrigerantes disponibles y cuáles son los más idóneos, cómo conseguir instalaciones energéticamente eficientes, y cómo optimizar el diseño, la puesta en marcha y el mantenimiento, adaptándonos progresivamente a un nuevo modo de concebir la industria de la refrigeración dentro de lo que, a nivel global, conocemos ya como **Industria 4.0**. Todo esto te guiará para convertirte en un **"Frigorista 4.0"**, un profesional de la refrigeración competente y adaptado a los nuevos tiempos.

Hasta ahora los profesionales del sector de la refrigeración procedían de diferentes ámbitos:

Hasta finales de los años 90 nos encontrábamos con dos tipos de profesionales. Los **ingenieros** dedicados al ámbito de la refrigeración, y los **técnicos instaladores** y mantenedores, que disponían de formación en mecánica o electricidad y se reciclaban aprendiendo el oficio a través de la experiencia y los cursos de formación ofrecidos por fabricantes y empresas del sector.

Desde el año 2000 han ido creándose diversos programas de **Formación Profesional** específicos para el sector de las instalaciones térmicas y de fluidos, profundizando en el ámbito de la refrigeración y la climatización. Esto permitió que los nuevos profesionales del sector fueran más competentes y comprendieran mejor las bases teóricas del funcionamiento de las



instalaciones. En cuanto a la formación superior, las **Universidades comenzaron a implantar masters** y postgrados especializados en la refrigeración.

En la actualidad todo está cambiando. Continúan los planes formativos en la Formación Profesional y la Universidad, pero **la tecnología y la complejidad de los proyectos aumentan a mayor velocidad que la implantación de los nuevos planes formativos**, lo que hace los técnicos e ingenieros tengan que estar en **constante actualización**. El objetivo ya no debe ser solo enseñar conocimientos a los alumnos en los centros formativos, ya que **la información hoy en día es global** gracias a internet. El objetivo ahora es conseguir que los alumnos se conviertan en **profesionales autónomos**, capaces de aprender por sí mismos y de aprovechar los recursos y **tecnologías de la información y comunicación (TICs)**. Alumnos capaces de aprender de **rápidamente** y con **espíritu crítico** para filtrar la inmensa cantidad de información disponible, y capaces de aplicarla para obtener **soluciones útiles, eficientes y sostenibles** para el sector de la refrigeración y climatización. Esta es la esencia del **Frigorista 4.0**.

En **CoolProject** estamos trabajando para **facilitar el camino** a los nuevos ingenieros y técnicos frigoristas para prepararse ante los nuevos desafíos del sector. En www.coolproject.com podrás encontrar artículos, videotutoriales y cursos, muchos de ellos gratuitos, para formarte en las nuevas tecnologías.

Somos un grupo de ingenieros, técnicos y especialistas en programación web dedicados a la enseñanza y difusión de la refrigeración mediante nuevas tecnologías, implementando **nuevos métodos, software y recursos** para facilitar la vida de los profesionales, tanto en el ámbito del **diseño y configuración** de los sistemas, como en el de la **instalación y mantenimiento**.

Esta guía es un regalo muy valioso que te hacemos desde CoolProject solo por suscribirte a nuestra lista de e-mail, desde donde te mantendremos informados de nuestras novedades. Espero que la disfrutes y agradecemos tus comentarios. ¡Vamos allá!



ÍNDICE

1. BREVE HISTORIA DE LA REFRIGERACIÓN	4
1.1. Primera generación (1834 - 1930): Refrigerantes naturales.....	4
1.2. Segunda generación (1930 - 1990): Refrigerantes CFCs y HCFCs.....	6
1.3. Tercera generación (1990 - 2010): Refrigerantes HFCs	7
1.4. Cuarta generación (2010 - Actualidad): Refrigerantes HFOs y vuelta a los refrigerantes naturales	9
1.5. Novedades previstas en el nuevo Reglamento de Instalaciones Frigoríficas de 2019	9
2. LOS NUEVOS Y “NO TAN NUEVOS” REFRIGERANTES.....	11
2. 1. Refrigerantes para el frío comercial.....	11
El R134a y potenciales sustitutos	11
El R404A y potenciales sustitutos.....	12
2. 2. Refrigerantes para el frío industrial	14
El Amoníaco, NH ₃ (R717).....	14
El Dióxido de carbono, CO ₂ (R744)	15
3. LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LAS INSTALACIONES FRIGORÍFICAS.....	18
3.1. Estimación de la carga térmica.....	18
3.2. Aislamiento térmico	19
3.3. Temperatura de los focos fríos y calientes.....	19
3.4. Elección del sistema y del refrigerante	20
3.5. Condensación y evaporación flotante	21
3.6. Adaptación de la oferta a la demanda de frío	22
3.7. Inercia térmica y acumulación de frío en horas valle.....	22
3.8. Free-cooling	23
3.9. Recuperación del calor de descarga y condensación	25
3.10. Desescarche por gas caliente	26
4. INTERNET DE LAS COSAS Y REFRIGERACIÓN 4.0	28
5. CÓMO FORMARTE PARA EL FUTURO DE LA REFRIGERACIÓN	32



1. BREVE HISTORIA DE LA REFRIGERACIÓN

Hay escritos que describen como en China, hace más de 1000 años, se almacenaba **hielo** en sótanos y cuevas para luego usarlo en verano. Los romanos recogían el hielo de los montes Apeninos, y en la Edad Media los camellos transportaban hielo desde el Líbano a los palacios de los califas en Damasco. En la India, en el siglo IV, se añadía **nitrate sódico** al agua para bajar su temperatura y se evaporaba agua para refrescar las estancias. En 1715 y 1760 Fahrenheit y von Braun, utilizando una mezcla de nieve y **nitrate amónico**, consiguieron alcanzar temperaturas de 40 °C bajo cero.

1.1. Primera generación (1834 - 1930): Refrigerantes naturales

El comienzo de la revolución del frío industrial fue en 1834, cuando **Jacob Perkins** construyó en Londres una máquina de refrigeración por compresión empleando **éter etílico** como refrigerante (Figura 1).

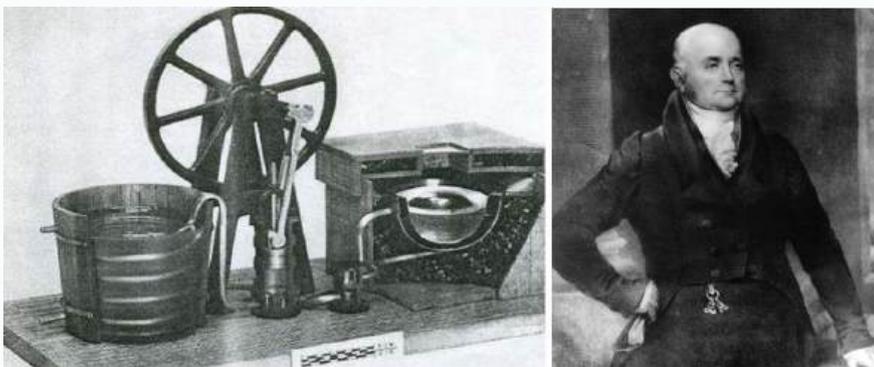


Figura 1. Jacob Perkins y su máquina frigorífica

En 1850, **Alexander Twining** patentó una máquina de compresión basada en el **dióxido de carbono (CO₂)** (Figura 2), que presentaba mejores propiedades que el éter, al no ser tóxico ni inflamable. Como inconveniente, el CO₂ era un fluido que trabajaba a altas presiones. Comenzó a emplearse con mucha frecuencia en la **refrigeración naval**.

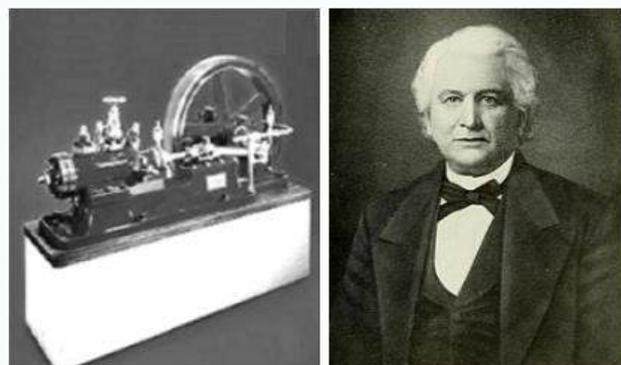


Figura 2. Alexander Twining y el primer compresor de CO₂



Unos años después, en 1876, el ingeniero alemán **Carl von Linde** construye la primera máquina de compresión funcionando con **amoníaco (NH₃)** (Figura 3), que rápidamente comienza a ser instalada en las **fábricas de cerveza** y compite fuertemente con el CO₂ en la industria naval, a pesar de su toxicidad y su ligera inflamabilidad. El amoníaco resulta ser un refrigerante con un **elevado poder frigorífico**.

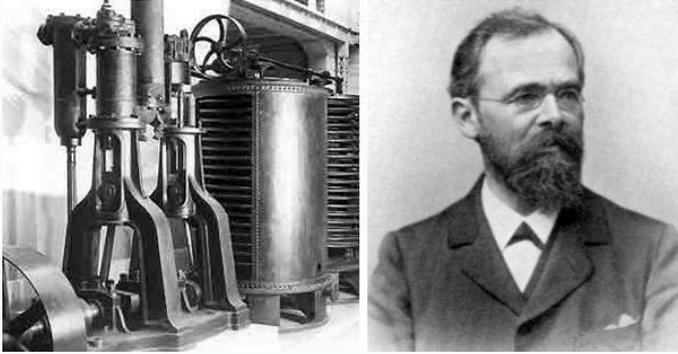


Figura 3. Carl von Linde y su máquina frigorífica de amoníaco

En las décadas siguientes, la atención fue orientada hacia la mejora del diseño mecánico y la operación de los equipos. A principios del siglo XX se comenzó a emplear el **dióxido de azufre (SO₂)** como fluido refrigerante para equipos más pequeños, comenzando a existir un mercado comercial y doméstico de la refrigeración (Figura 4).

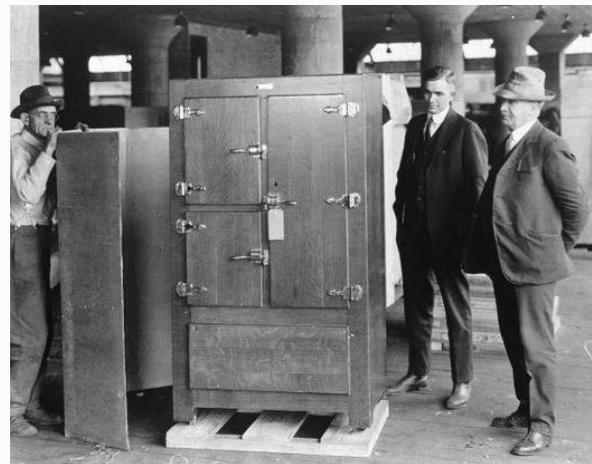


Figura 4. Refrigerador doméstico construido en 1921 por la General Motors

Este refrigerante tenía graves inconvenientes, como la formación de ácido sulfuroso cuando se combinaba con el agua, el cual es **muy corrosivo** y ataca ciertas partes del sistema. Adicionalmente, cuando se fugaba, aún en pequeñísimas cantidades, causaba **tos violenta y ahogamiento** en las personas.

A pesar de todo, las mejoras tecnológicas permitieron al SO₂ establecerse como líder en el sector de la refrigeración comercial durante varios años. Otros refrigerantes fueron probados durante esta época con cierto éxito, como es el caso del **cloruro de metilo (CH₃Cl)**.



1.2. Segunda generación (1930 - 1990): Refrigerantes CFCs y HCFCs

En 1928, las empresas General Motors y Dupont, llevaron a cabo un proyecto conjunto para el desarrollo de un refrigerante **seguro y estable**, que no fuera tóxico, corrosivo ni inflamable, y que tuviera las características necesarias para poder usarse en equipos compactos.

El ingeniero y químico responsable del proyecto fue **Thomas Midgley** (Figura 5), quien logró sintetizar el **diclorodifluorometano (R12)**, que revolucionó el mercado de la refrigeración, demostrando que no era inflamable y que tenía una toxicidad inusualmente baja. El propio Midgley, en una presentación del R12, inhaló una bocanada del gas y sopló sobre una vela para apagarla, demostrando así que el compuesto era no inflamable e inocuo para las personas. En 1930 comenzaron a producirse a gran escala varios refrigerantes de características similares al R12, conocidos como **refrigerantes halogenados** y denominados comercialmente con el nombre de **freones**, siendo los más empleados el R11, R12 y R13. Éstos eran del tipo clorofluorocarbonados (CFCs), los cuales más tarde fueron sustituidos en parte por los hidroclorofluorocarbonados (HCFCs), tales como el **R22 y el R502**, que tuvieron un gran éxito tanto el mercado del frío industrial como en el sector doméstico y comercial. Además de su uso como refrigerantes, a los fluidos halogenados se les encontraron otras aplicaciones, tales como propelentes, solventes, extinguidores de fuego, agentes espumantes y otros.



Figura 5. Thomas Midgley, inventor de los CFCs

Todo cambió en 1974, cuando los científicos **Rowland y Molina** (Figura 6) descubrieron que los gases con átomos de cloro y bromo emitidos a la atmósfera estaban **destruyendo la capa de ozono**, lo que fue confirmado años más tarde por la NASA, que verificó el fenómeno de degeneración de la capa de ozono en la Antártida. Después de varios años de negociaciones se llevó a cabo un acuerdo internacional en 1989 que concluyó con la firma del **Protocolo de Montreal**, con el objetivo de reducir la producción y uso de los CFCs de manera gradual, hasta su total desaparición antes del año 2000. Se comprobó que los CFCs son los más perjudiciales, seguidos de los HCFCs.





Figura 6. F. Sherwood Rowland y Mario Molina en su laboratorio de California (EEUU)

Los refrigerantes naturales tales como el amoníaco y el CO₂ continuaron empleándose habitualmente en instalaciones industriales de gran tamaño, si bien, las instalaciones semi-industriales fueron progresivamente diseñadas para trabajar con freones.

1.3. Tercera generación (1990 - 2010): Refrigerantes HFCs

Para dar cumplimiento al Protocolo de Montreal, en Europa se desarrollan en los siguientes años una serie de reglamentos para regular las sustancias que agotan la capa de ozono (Reglamentos CE nº 3093/1994, nº 2037/2000 y el más reciente: nº 1005/2009). En estos reglamentos se establecen los **calendarios y fechas para la eliminación** progresiva de los CFCs y HCFCs:

CFCs:

- 1995. Prohibición de producción y consumo.

HCFCs:

- 2001. Prohibición de fabricación de equipos con HCFCs > 100 kW.
- 2002. Prohibición de fabricación de equipos "solo frío" con HCFCs < 100 kW.
- 2004. Prohibición de fabricación de equipos "bomba calor" con HCFCs < 100 kW.
- 2010. Prohibición de HCFCs de nueva fabricación, solo reciclados.
- 2015. Prohibición de HCFCs, incluso reciclados.

La nueva normativa promueve en la década de los 90 la comercialización de una nueva familia de refrigerantes sintéticos, los **hidrofluorocarbonados (HFCs)**, que carecen de cloro en sus moléculas, teniendo un efecto nulo sobre el agotamiento de la capa de ozono. En un primer momento estos nuevos refrigerantes parecen ser la solución definitiva, ya que permiten solucionar el problema medioambiental, y son de fácil implantación en las instalaciones existentes con leves modificaciones. Se impone el empleo del **R404A** en refrigeración de bajas temperaturas y el **R134a** para medias y altas temperaturas. En climatización se extiende el uso del **R410A**.



Una vez aprobadas y puestas en marcha las medidas para preservar la capa de ozono, los focos de las políticas medioambientales pasaron a estar sobre los efectos del cambio climático provocados por el **calentamiento global**. Numerosos estudios demostraron que existían una serie de fluidos cuyos vapores liberados a la atmósfera provocaban un “**efecto invernadero**” a gran escala, entre los que los gases fluorados resultaron tener un potencial de calentamiento muy elevado.

En 1997 se firmó el **Protocolo de Kyoto** por parte de numerosos países del mundo con la intención de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. En lo referente a los gases fluorados, en Europa se establece el Reglamento CE 842/2006 que ha sido recientemente actualizado por el Reglamento CE 517/2014, norma también conocida como **Reglamento F-Gas**. En España dicha normativa europea se ha aplicado estos últimos años a través del RD 750/2010, recientemente actualizado con el **RD 115/2017**, donde se establece el siguiente calendario de eliminación progresiva de gases fluorados (Figura 7):

Prohibición de HFCs en equipos nuevos:

- 2015. Prohibición de HFCs de PCA > 150 en equipos de refrigeración doméstica.
- 2020. Prohibición de HFCs de PCA > 2500 en equipos de refrigeración comercial. Prohibición de HFCs de PCA > 150 en equipos portátiles de aire acondicionado.
- 2022. Prohibición de HFCs de PCA > 150 en equipos de refrigeración comercial y en centrales frigoríficas comerciales con más de 40 kW de capacidad, excepto en circuitos primarios de instalaciones en cascada, donde se permitirán HFCs de PCA < 1500.
- 2025. Prohibición de HFCs de PCA > 750 en equipos partidos de aire acondicionado de menos de 3 kg de carga.

Prohibición de HFCs para servicio y mantenimiento:

- 2019. Prohibición de HFCs de PCA > 2500, de **nueva fabricación**, en equipos con carga superior a 40 toneladas equivalentes de CO₂ (límite de 10 kg de R404A).
- 2029. Prohibición de HFCs de PCA > 2500 **reciclado** en equipos con carga superior a 40 toneladas equivalentes de CO₂.



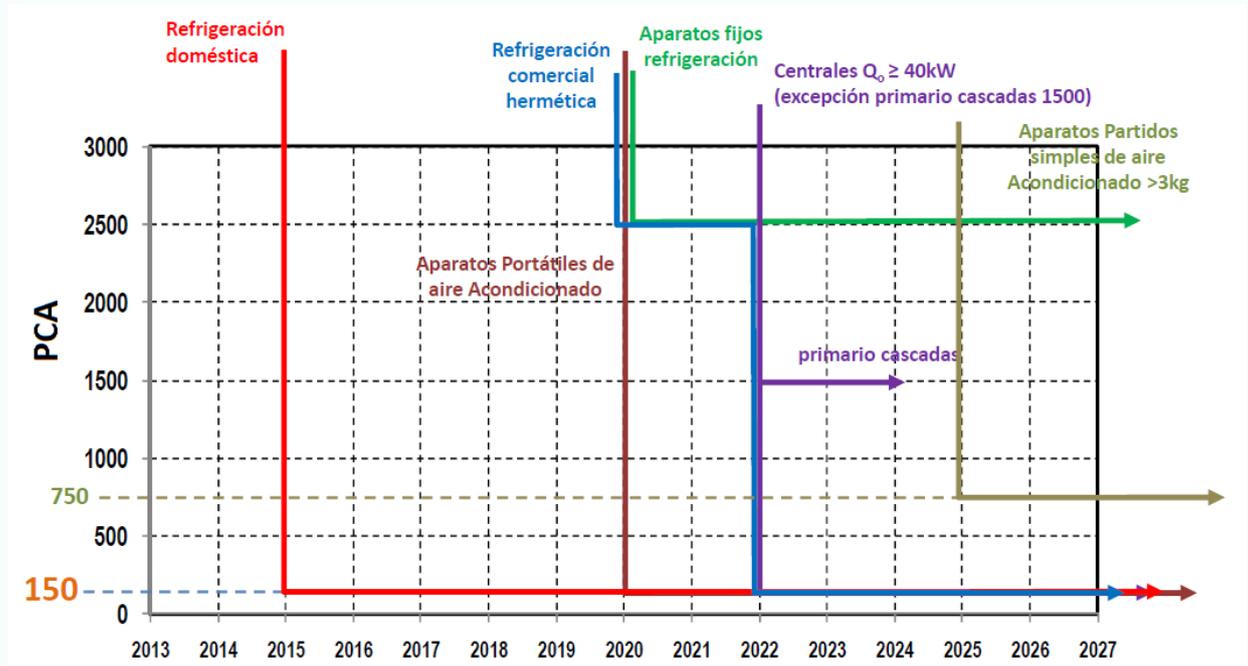


Figura 7. Calendario de eliminación de los HFCs con mayor PCA

1.4. Cuarta generación (2010 - Actualidad): Refrigerantes HFOs y vuelta a los refrigerantes naturales

Las medidas impuestas por Europa a través de la F-Gas están obligando a marchas forzadas a la búsqueda de nuevos refrigerantes por parte de las industrias químicas. En el año 2011 los fabricantes de refrigerantes Dupont y Honeywell lanzaron al mercado nuevos refrigerantes fluorados con muy bajo potencial de calentamiento atmosférico denominados **hidrofluoroolefinas (HFOs)**, siendo los más prometedores el **R1234yf** y el **R1234ze** (PCA=1), aunque ambos son de aplicación para sistemas con altas temperaturas, no existiendo aún una solución clara para bajas temperaturas. Los HFOs tienen además el inconveniente de ser **ligeramente inflamables**, lo que implica mayores precauciones en su manipulación. En España, el nuevo [Reglamento de instalaciones frigoríficas \(RD 552/2019\)](#) incluye a los HFO dentro del **grupo A2L: Ligeramente inflamable y baja toxicidad** (Norma UNE-EN 378-1:2017), para los cuales no sean necesarias tantas medidas extraordinarias como para el grupo A2.

1.5. Novedades previstas en el nuevo Reglamento de Instalaciones Frigoríficas de 2019

Con la entrada en vigor del nuevo Reglamento de Instalaciones Frigoríficas **debemos tener en cuenta los siguientes aspectos:**



- En la IF-02 se incluye un **nuevo grupo de refrigerantes 2L** (baja inflamabilidad y toxicidad). Dentro de este grupo tenemos el subgrupo **A2L, de baja toxicidad (R32, R1234yf, R1234ze)**, y el subgrupo **B2L, de alta toxicidad (R717)**.
- Las instalaciones con refrigerantes del grupo A2L **podrán ser ejecutadas y mantenidas por un instalador de nivel 1**, hasta cierto límite de carga y bajo condiciones específicas, mientras que hasta ahora solo podían ser instaladas por uno de nivel 2.
- Bajo las condiciones del punto anterior, puesto que se considera una instalación nivel 1, ya no hay necesidad de que el titular de la instalación tenga un Seguro de Responsabilidad Civil suscrito de 500.000€. El instalador ya no necesita tampoco tener un seguro de Responsabilidad Civil de 900.000€ al reducirse el nivel necesario de los instaladores.
- A partir de su entrada en vigor, solo será obligatorio realizar una **memoria técnica** y la documentación que se incluye en el Anexo 21 del reglamento, eliminando así la necesidad de presentar un proyecto suscrito por un técnico titulado.
- Para legalizar las instalaciones realizadas previamente con refrigerantes A2L, se dispondrá de un plazo de 3 años desde la entrada en vigor del nuevo RSIF.

También se prevén **otras novedades** tales como:

- Ampliación de los **tipos de sistemas** de refrigeración (IF-03), lo que permitirá un abanico más amplio de diseños y configuraciones disponibles.
- Ampliación de los **tipos de emplazamiento y tipos de locales** (Artículo 6), que modificará entre otros aspectos la carga máxima admisible de refrigerante para cada caso.
- Establece de una manera más clara en el Artículo 8 que, si varios equipos autónomos comparten la misma sala de máquinas o suministran frío al mismo recinto, **serán considerados como una instalación única** a efectos de suma de potencias para determinar si la instalación es nivel 1 o nivel 2. Esto anula la picaresca que ha existido hasta ahora de instalar tres equipos autónomos de 30 kW en una misma sala de máquinas y legalizar la instalación como nivel 1, lo que ahorra el proyecto técnico y los inconvenientes de una instalación de nivel 2.
- Ampliación de la **carga máxima permitida para los refrigerantes del grupo A3**, Hidrocarburos, (IF-04), según la categoría del local y el tipo de emplazamiento de los equipos.
- La disposición transitoria primera indica que las **instalaciones antiguas** registradas en Agricultura y Pesca, o antiguos registros de Industria, tienen 3 años para regularizarse.

¿Y ahora qué? El futuro de la refrigeración

Si me acompañas en los siguientes capítulos de esta guía vamos a entrar en detalle en lo que nos depara el futuro en cuanto a **nuevos refrigerantes y nuevas tecnologías** que van a cambiar radicalmente nuestro oficio. Vamos a analizar qué soluciones tenemos disponibles en el mercado actualmente, cuáles serán provisionales y cuales definitivas, cuáles son las más adecuadas para cada aplicación, etc. ¡Vamos a por ello!



2. LOS NUEVOS Y “NO TAN NUEVOS” REFRIGERANTES

Si has leído la breve historia de la refrigeración que te cuento en el capítulo anterior ya tendrás más o menos una idea de cómo ha evolucionado el mercado de los refrigerantes. Vamos a ver ahora qué refrigerantes tenemos disponibles actualmente y cuáles son los más apropiados para cada aplicación. Recuerda que **la refrigeración se extiende en muchos ámbitos:** refrigeración comercial e industrial, climatización residencial, comercial e industrial, y múltiples aplicaciones especiales, transporte marítimo, terrestre, aéreo, sector nuclear, etc.

2. 1. Refrigerantes para el frío comercial

El sector del **frío comercial** comprende todas aquellas instalaciones de supermercados, hostelería y distribución minorista en general. Estas instalaciones constan de expositores, vitrinas y cámaras frigoríficas a las que tiene acceso el público. Por otra parte, la potencia eléctrica total instalada en estas instalaciones no suele superar los 300 kW.

En este ámbito los refrigerantes más empleados tradicionalmente han sido el **R134a**, para servicios de temperatura positiva (producto refrigerado), y el **R404A** (ó el R507A) para temperatura negativa (producto congelado).

El R134a y potenciales sustitutos

En instalaciones para media y alta temperatura con potencia eléctrica instalada menor de 300 kW, el R134a ha sido el refrigerante más empleado en los últimos años. Aunque no es uno de los fluidos con mayor potencial de calentamiento atmosférico (PCA=1300), en breve su producción y consumo irá en descenso. Existen actualmente disponibles varias alternativas, como los nuevos HFOs R1234yf y R1234ze, o las mezclas R450A o R513A, que son combinaciones de R134a con los HFOs citados. Dichas mezclas son actualmente una solución provisional, ya que a partir del año 2022 solo cumplirían la normativa los HFOs puros (PCA<150).

En la Tabla 1 se muestran comparadas las principales características de cada refrigerante. En base a unas condiciones habituales de funcionamiento para cámaras de temperatura positiva, se puede apreciar que los refrigerantes sustitutos tienen un COP inferior al R134a, aunque el R1234yf permite que el compresor genere hasta un 6% más de potencia frigorífica, gracias a su mayor densidad.



Código refrigerante	R-134a	R-1234yf	R-1234ze	R-450A	R-513A
Tipo refrigerante	HFC puro	HFO puro	HFO puro	Mezcla zeotrópica (R-134a + R-1234ze)	Mezcla zeotrópica (R-134a + R-1234yf)
Grupo seguridad	A1	A2L	A2L	A1	A1
PCA	1300	1	1	547	631
Tª evaporación a 1 atm (°C)	-26,10	-29,50	-18,95	-23,10	-29,20
Presión condensación (abs) a 45 °C (bar)	11,60	11,54	8,76	10,29	11,58
Potencia frigorífica referencia (kW) *	1,00	1,06	0,77	0,87	1,03
COP *	2,99	2,86	2,85	2,91	2,92
Tª descarga (°C) *	68,90	58,90	64,93	66,60	63,30
Aceite compatible	POE	POE modificado	POE modificado	POE	POE

* Tª evaporación: -3 °C; Tª condensación: 45 °C; Recalentamiento: 5 K; Subenfriamiento: 5 K

Tabla 1. Propiedades del R134a y sus potenciales sustitutos

El R404A y potenciales sustitutos

En el ámbito de las medias y bajas temperaturas, el R404A y el R507A llevan varios años siendo los más utilizados, teniendo ambos propiedades muy similares. Ya existen nuevos sustitutos, pero todos ellos son alternativas provisionales, ya que ninguno cumple con el requisito de $PCA < 150$, lo que fuerza a los fabricantes a seguir investigando para sintetizar nuevos fluidos adaptados a la legislación.

En la Tabla 2 se muestran comparadas las principales características de cada refrigerante. Estableciendo unas condiciones típicas de funcionamiento para cámaras de temperatura negativa, se puede apreciar que los refrigerantes sustitutos tienen un COP superior al R404A, aunque la potencia frigorífica producida por un mismo compresor es inferior en todos los casos. Un problema generalizado de los sustitutos es que presentan una **excesiva temperatura de descarga**, lo que obliga a emplear **ventiladores de culata** (compresores alternativos) o **inyección de líquido** (compresores tornillo) para amortiguar dichas temperaturas. El R452A es el único sustituto probado que trabaja con temperaturas de descarga similares al R404A, factor que junto a su elevado COP y buena producción frigorífica, hace que sea un firme candidato para la sustitución directa (drop-in) en instalaciones existentes de R404A.



Código refrigerante	R-404A	R-507A	R-407A	R-407F	R-448A	R-449A	R-452A
Tipo refrigerante	Mezcla zeotrópica HFCs + HFOs	Mezcla zeotrópica HFCs + HFOs	Mezcla zeotrópica HFCs + HFOs				
Grupo seguridad	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1
PCA	3784	3845	2107	1705	1380	1397	2104
Tª evaporación a 1 atm (°C)	-46,45	-46,70	-45,01	-46,06	-46,12	-46,32	-46,75
Presión condensación (abs) a 45 °C (bar)	20,59	21,04	20,70	21,65	21,16	19,68	20,61
Potencia frigorífica referencia (kW) *	1,00	1,03	0,82	0,90	0,97	0,97	0,98
COP *	1,33	1,31	1,45	1,48	1,45	1,45	1,33
Tª descarga (°C) *	77,20	75,80	99,20	108,70	97,90	99,60	80,10
Aceite compatible	POE	POE	POE	POE	POE	POE	POE

* Tª evaporación: -30 °C; Tª condensación: 45 °C; Recalentamiento: 5 K; Subenfriamiento: 5 K

Tabla 2. Propiedades del R404A y sus potenciales sustitutos

El problema sigue siendo que aún no hay ningún sustituto de R404A disponible en el mercado que tenga un PCA inferior a 150. Las empresas químicas están ensayando el **R454C (PCA=148)** y el **R455A (PCA=146)**, que presentan temperaturas de descarga no muy altas (Tabla 3). Sin embargo, son gases con un **deslizamiento muy elevado (6 a 12 K)**, que requieren un especial manejo en la carga y en la reparación de fugas. Está por ver cómo evolucionarán los nuevos HFO en los próximos años, pero de momento no se vislumbra una solución definitiva.

Por otra parte, el **propano (R290)** y el **CO₂ (R744)** son las alternativas ecológicas al R404A para bajas temperaturas, con PCA=3 y 1 respectivamente. El propano tiene el inconveniente de ser inflamable (grupo A3), por lo que la normativa limita su carga de manera muy estricta. El nuevo Reglamento será menos restrictivo, por lo que seguramente **se verá una proliferación de las instalaciones comerciales con refrigerantes hidrocarburos (HCs)**. El CO₂, en cambio, se ha empleado en bajas temperaturas a nivel industrial y ahora está adaptándose a los nuevos tiempos, siendo cada vez más los fabricantes que están empleándolo en refrigeración comercial, por ejemplo, para la refrigeración en supermercados mediante **sistemas transcíticos**.



Código refrigerante	R-404A	R-507A	R-454C	R-455A
Tipo refrigerante	Mezcla zeotrópica HFCs	Mezcla zeotrópica HFCs	Mezcla zeotrópica HFOs	Mezcla zeotrópica HFOs
Grupo seguridad	A1	A1	A2L	A2L
PCA	3784	3845	148	146
Tª evaporación a 1 atm (°C)	-46,45	-46,70	-45,90	-46,06
Presión condensación (abs) a 45 °C (bar)	20,59	21,04	17,80	20,04
Potencia frigorífica referencia (kW) *	1,00	1,03	0,94	0,96
COP *	1,33	1,31	1,44	1,42
Tª descarga (°C) *	77,20	75,80	88,50	94,20
Aceite compatible	POE	POE	POE modificado	POE modificado

* Tª evaporación: -30 °C; Tª condensación: 45 °C; Recalentamiento: 5 K; Subenfriamiento: 5 K

Tabla 3. Comparativa de los nuevos refrigerantes R454C y R455A

2. 2. Refrigerantes para el frío industrial

El Amoníaco, NH₃ (R717)

Para grandes instalaciones industriales, de más de 300 kW, tanto en media como baja temperatura, el **amoníaco, NH₃ (R717)** ha sido el refrigerante empleado de manera habitual desde hace más de 100 años, aunque en las últimas décadas las instalaciones de amoníaco han tenido una gran evolución tecnológica, incrementado también las medidas de seguridad.

El amoníaco es un refrigerante ecológico (PAO=0 y PCA=0), siendo sus únicos inconvenientes su **toxicidad** y **moderada inflamabilidad**, que hacen que esté clasificado como refrigerante de **media seguridad (Grupo B2)**. En cuanto a sus propiedades termodinámicas, éstas son excelentes, mejorando las cualidades de los refrigerantes fluorados, como se puede observar en la Tabla 4 en la que se compara con el R134a. Bajo unas mismas condiciones de trabajo el amoníaco proporciona un 67 % más de potencia frigorífica.



Código refrigerante	R-134a	R-717
Tipo refrigerante	HFC puro	Natural
Grupo seguridad	A1	B2L
PCA	1300	0
Tª evaporación a 1 atm (°C)	-26,10	-33,30
Presión condensación (abs) a 35 °C (bar)	8,87	13,51
Potencia frigorífica referencia (kW) *	1,00	1,67
COP *	4,14	4,18
Tª descarga (°C) *	55,40	127,60
Aceite compatible	POE	Mineral / AB / PAO

* Tª evaporación: -3 °C; Tª condensación: 35 °C; Recalentamiento: 5 K; Subenfriamiento: 5 K

Tabla 4. Comparación de las propiedades del R717 y del R134a

Un detalle importante a tener en cuenta es la **elevada temperatura de descarga** del amoníaco, inconveniente que se soluciona realizando el enfriamiento del aceite inyectado en los compresores de tornillo para evitar que la temperatura de descarga sea excesiva, y pueda provocar problemas de lubricación y degradación del aceite y del refrigerante.

El Dióxido de carbono, CO₂ (R744)

En el caso de grandes instalaciones de baja temperatura y muy baja temperatura (túneles de congelación), el **CO₂ (R744)** ha sido el refrigerante más empleado históricamente, si bien es cierto que fue sustituido por el R23 para aplicaciones por debajo de -40 °C, el elevado PCA del R23 (elevados impuestos económicos) ha devuelto al CO₂ su puesto como refrigerante principal para la ultracongelación.

A nivel industrial, el CO₂ trabaja frecuentemente en **ciclo cascada** en combinación con NH₃ en la etapa superior. Este patrón se ha empleado desde hace unos años para el frío comercial combinando CO₂ y R134a, pero poco a poco, el avance tecnológico en los sistemas transcíticos está permitiendo emplear CO₂ como único refrigerante en supermercados. No está siendo el caso en el ámbito industrial, donde los sistemas en cascada con amoníaco siguen predominando.



El CO₂ es también un refrigerante natural, ecológico (PAO = 0 y PCA = 1) con muy buenas propiedades para trabajar a bajas temperaturas, aunque su manejo requiere ciertas precauciones debido a las **elevadas presiones de trabajo y a su alto punto de solidificación**.

En la Tabla 5 se comparan las características del amoníaco y el CO₂ con el R404A, empleado en instalaciones de menor tamaño. Bajo unas mismas condiciones de funcionamiento, trabajando con un compresor de similar desplazamiento volumétrico, se puede observar como el CO₂ presenta una capacidad frigorífica 6 veces superior a la del amoníaco, lo que se traduce en un ahorro importante en el tamaño de los compresores. Esto es debido a la **alta densidad** del vapor de dióxido de carbono.

Código refrigerante	R-404A	R-717	R-744
Tipo refrigerante	Mezcla zeotrópica HFCs	Natural	Natural
Grupo seguridad	A1	B2	A1
PCA	3784	0	1
Tª evaporación a 1 atm (°C)	-46,45	-33,33	-93,67
Presión condensación (abs) a -5 °C (bar)	5,14	3,55	30,46
Potencia frigorífica referencia (kW) *	1,22	1,00	5,30
COP *	6,24	6,13	5,67
Tª descarga (°C) *	13,1	74,20	38,60
Aceite compatible	POE	Mineral / AB / PAO	POE

* Tª evaporación: -30 °C; Tª condensación: -5 °C; Recalentamiento: 5 K; Subenfriamiento: 5 K

Tabla 5. Comparación de las propiedades del R744, R717 y R404A

Las perspectivas del sector de la refrigeración a largo plazo, siguen siendo una incógnita. Probablemente la reglamentación medioambiental seguirá endureciéndose aún más en el futuro, lo que puede contribuir a que se vayan empleando en mayor medida los **refrigerantes naturales** (NH₃, CO₂, HCs) y los pocos HFCs y HFOs que cumplan los requisitos de PCA impuestos.

Previsiblemente se tenderá hacia el uso de **fluidos secundarios** (glicoles y salmueras) en mayor medida, y a la confinación del refrigerante primario en la sala de máquinas, ya que así la cantidad del mismo será menor y permitirá un mejor control de fugas.



Hoy día se trabaja también en nuevas tecnologías de refrigeración, como las basadas en el **efecto magnetocalórico** de algunas aleaciones metálicas, lo cual podría permitir en un futuro la extinción total de los refrigerantes y el paso definitivo a una “refrigeración limpia” con una mayor eficiencia energética.



3. LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LAS INSTALACIONES FRIGORÍFICAS

Otro de los retos que se presentan para los técnicos del futuro, es conseguir que las instalaciones cumplan su función **consumiendo la mínima energía posible y respetando el medio ambiente**. Disponer de un sistema eficiente nos permite ahorrar en costes de explotación, mantenimiento, y reducir el impacto ambiental, aunque por el contrario se requerirá una inversión inicial mayor. Actualmente los costes de los dispositivos electrónicos han bajado mucho y la eficiencia energética comienza a ser rentable en todos los aspectos.

Vamos a ver ahora qué factores principales influyen en la eficiencia energética de una instalación frigorífica y cómo podemos incidir en ellos realizando buenos diseños, instalación y mantenimiento:

- Estimación de la carga térmica
- Aislamiento térmico
- Temperatura de los focos fríos y calientes
- Elección del sistema y del refrigerante
- Condensación y evaporación flotante
- Adaptación de la oferta a la demanda de frío
- Inercia térmica y acumulación de frío en horas valle
- Free-cooling
- Recuperación del calor de descarga y condensación
- Desescarche por gas caliente

3.1. Estimación de la carga térmica

Antes de pensar en medidas de ahorro energético relativas al diseño del sistema frigorífico o a la gestión y mantenimiento del mismo, no debemos olvidar que en la mayoría de las ocasiones los proyectistas **sobreestiman la carga térmica o necesidades frigoríficas**. Un cálculo adecuado de estas necesidades nos va a permitir afinar en la potencia frigorífica requerida en la instalación.

La estimación correcta de la carga térmica requiere del conocimiento detallado de los flujos de trabajo en las cámaras frigoríficas, tipo y cantidad de producto, renovación diaria del mismo, etc. Toda esta información debe ser proporcionada por el cliente final, pero habitualmente ni él mismo conoce todos estos detalles, lo que da lugar a que el proyectista sobredimensione los equipos para no quedarse corto. Sin embargo, es importante tener una reunión con el cliente y realizarle buenas preguntas para poder conocer sus verdaderas necesidades.

En muchos casos el cliente no sabe lo que necesita, y es el proyectista o instalador el que tiene que estar preparado para **ofrecerle una solución óptima** desde el punto de vista técnico, económico y ambiental.



Esta primera fase de diseño es fundamental para el futuro del proyecto, y en CoolProject estamos trabajando en el diseño de nuestro software **CoolProRoom**, ¡disponible próximamente!, que permitirá el **cálculo de las cargas térmicas y tiempos de enfriamiento** en las cámaras frigoríficas de una manera intuitiva y con una gran **base de datos** de productos, tipos de recintos y recomendaciones de diseño que permitirán **aprender los puntos clave** mientras se trabaja en el proyecto. Para más información visitar <https://coolproject.com/calculo-cameras-frigorificas/>.

3.2. Aislamiento térmico

Otro factor clave, que también afecta de manera importante a la carga térmica, es la **correcta elección del aislamiento** de las cámaras. Se debe seleccionar el material más adecuado y el espesor que permita minimizar el flujo de calor a través de los cerramientos. El Reglamento de Instalaciones Frigoríficas establece un límite de pérdidas de 9 W/m² para cámaras de temperatura positiva y 8 W/m² para cámaras de temperatura negativa. En la Tabla 6 se muestran algunos valores orientativos. El software **CoolProRoom calcula directamente el espesor óptimo** conocidas las temperaturas interior y exterior de la cámara.

Cámaras de conservación de refrigerados y túneles de oreo	Panel poliuretano de 80 a 100 mm de espesor
Cámaras de conservación de congelados	Panel poliuretano de 100 a 150 mm de espesor
Túneles de congelación	Panel poliuretano de 150 a 200 mm de espesor
Salas de trabajo	Panel poliuretano de 40 a 80 mm de espesor

Tabla 6. Espesores de aislamiento orientativos para diferentes tipos de recintos frigoríficos

3.3. Temperatura de los focos fríos y calientes

El calor fluye de manera espontánea desde un foco caliente a un foco frío. En una cámara frigorífica buscamos invertir ese flujo, transfiriendo el calor desde un foco frío (cámara) a un foco caliente (exterior). Mientras más alejadas estén las temperaturas entre ambos focos, mayor será la cantidad de energía a aportar para realizar el transporte de calor.

En 1824 el ingeniero francés **Sadi Carnot** estableció el rendimiento máximo teórico que puede tener una máquina frigorífica en función de las temperaturas del foco frío y del foco caliente entre los que se transfiere el calor (Figura 8). La ecuación del rendimiento máximo que podría alcanzar una máquina frigorífica en teoría sería la siguiente:

$$COP_{m\acute{a}x} = \frac{T_f}{T_c - T_f}$$



Siendo T_f la temperatura del foco frío y T_c la temperatura del foco caliente, ambas en grados Kelvin (K). Imaginemos una cámara frigorífica a 2 °C trabajando con un equipo frigorífico que condensa en el exterior a 38 °C. El COP máximo teórico sería de:

$$COP_{m\acute{a}x} = \frac{2 + 273}{(38 + 273) - (2 + 273)} = 7,64$$

En la práctica, un equipo real trabajando a esas temperaturas T_c y T_f podría alcanzar un $COP_{real} = 2,70$ y quizás 3,20 si los intercambiadores de calor se diseñan muy holgados. No obstante, Carnot supo establecer el máximo teórico que ninguna máquina, por perfecta que sea, podrá jamás llegar a alcanzar.

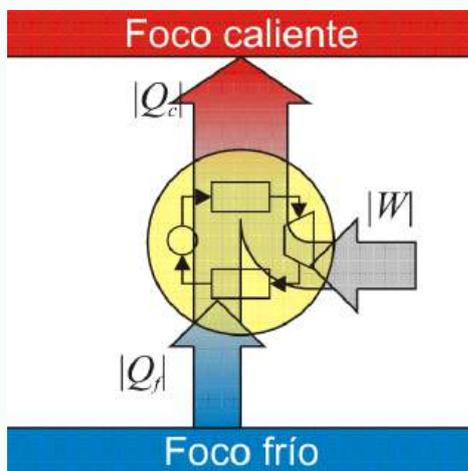


Figura 8. Diagrama de flujo de calor y trabajo de una máquina frigorífica entre un foco frío y uno caliente

La conclusión que se puede sacar de aquí es que debemos intentar trabajar con saltos de temperatura bajos para obtener el mejor COP posible. Esto pasa por:

- Seleccionar una **adecuada temperatura del recinto a enfriar**. Si el producto en la cámara frigorífica necesita estar a 2 °C, no debemos trabajar a 0 °C, pues el equipo frigorífico estará consumiendo más energía inútilmente.
- Ubicar los **condensadores en ambientes sombreados y con buena ventilación**, para tener una temperatura lo más baja posible en el foco caliente. El **mantenimiento y limpieza** periódica de los mismos también será crucial.
- Diseñar los intercambiadores de calor con **saltos térmicos bajos**, aunque suponga aumentar su superficie.

3.4. Elección del sistema y del refrigerante

El **refrigerante** que empleemos en nuestra instalación frigorífica, así como la **configuración del sistema** será también un punto clave para el ahorro energético. Como ejemplos ilustrativos, el COP de un sistema inundado trabajando con NH₃ puede ser hasta un 30 % superior al de un sistema de expansión seca con R404A. Y, por otra parte, un sistema indirecto



puede empeorar el COP un 10 % respecto a un sistema directo. Todo esto habrá que tenerlo en cuenta, aunque no solo hay que tener en cuenta el COP para la elección de un sistema, también debemos fijarnos en el impacto ambiental y en el coste de la instalación.

Como regla general para optimizar el COP de una instalación frigorífica, debemos perseguir los siguientes objetivos:

- **Temperatura de evaporación** lo más alta posible.
- **Temperatura de condensación** lo más baja posible.
- **Recalentamiento** mínimo, pero suficiente para evitar los golpes de líquido.
- **Subenfriamiento** lo más alto posible.

3.5. Condensación y evaporación flotante

La **condensación flotante** es un método de regulación de la presión de condensación de tal forma que se permite al sistema condensar a una temperatura más baja si las condiciones exteriores son favorables. Por poner un ejemplo numérico, si la temperatura ambiente desciende de 30 a 20 °C, la temperatura de condensación, de manera natural, descenderá de 40 a 30 °C (Figura 9). Con el sistema de control tradicional, no se dejaría al sistema que bajara su temperatura de condensación a 30 °C, sino que se desconectarían algunos de los ventiladores del condensador para reducir la capacidad del mismo y seguir manteniendo una temperatura de condensación cercana a los 40 °C, lo que permitiría mantener la presión de alimentación mínima recomendada en la válvula de expansión termostática.

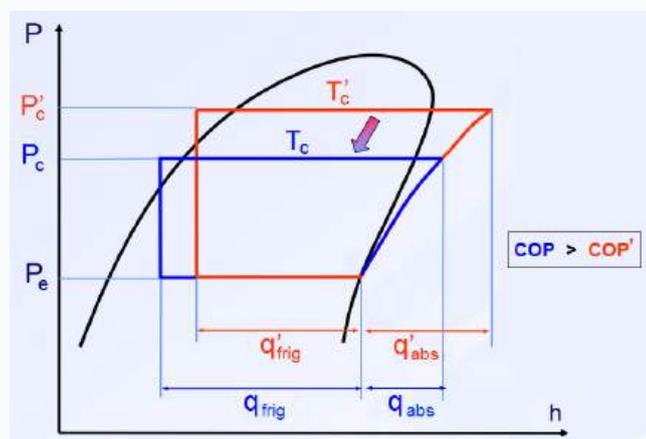


Figura 9. Análisis de la condensación flotante en el diagrama de Mollier

Con el sistema de condensación flotante se dejará que la presión de condensación se regule por sí misma en base a la temperatura exterior, en este caso se condensaría a 30 °C, consiguiendo un gran **ahorro energético**. Para poder realizar este tipo de control es necesario el empleo de **válvulas de expansión electrónicas (VEE)**, que pueden trabajar adecuadamente con cualquier presión de alimentación. La VEE, además, permite mantener un **valor adecuado de la temperatura de evaporación** independientemente de que la temperatura de condensación descienda, con lo que se evitaría la formación excesiva de escarcha y la desecación del producto.



La VEE, por su parte, será regulada para mantener la temperatura de evaporación de consigna independientemente de la presión de condensación. Es más, la mayoría de controladores, permiten ya que la temperatura de evaporación no sea fija, sino que vaya adaptándose a las necesidades de la cámara frigorífica; es lo que se denomina **evaporación flotante**.

* Recordemos que un aumento de 1 °C en la temperatura de evaporación o una bajada de 1 °C en la temperatura de condensación, mejoran el COP en aproximadamente un 3 %.

3.6. Adaptación de la oferta a la demanda de frío

Algo que impide que las instalaciones sean realmente eficientes es que frecuentemente están sobredimensionadas, no solo por la sobreestimación de la carga térmica, sino por la elección de los equipos de la instalación. Es por ello que debemos prestar especial importancia a la elección de la central de compresores frigoríficos, seleccionando estos de tal manera que en todo momento podamos **adaptar la oferta de frío a la demanda** de nuestros servicios.

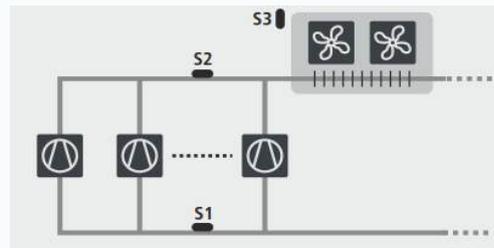
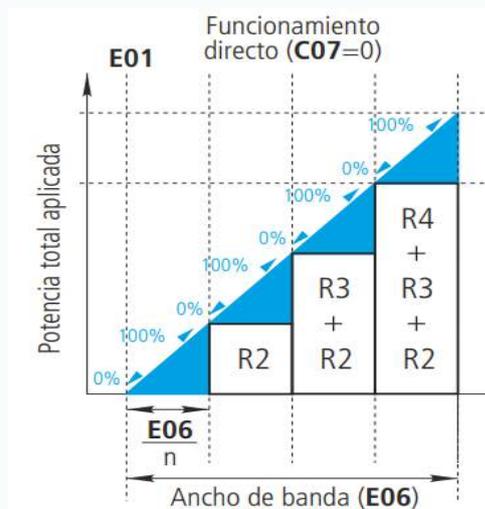


Figura 10. Sistema de control de etapas de producción frigorífica

El abaratamiento del precio de los **variadores electrónicos de velocidad** para compresores y ventiladores, unido a la **válvula de expansión electrónica** está permitiendo hoy en día no producir más frío del necesario en cada momento, lo que conlleva un ahorro energético muy importante. En la Figura 10 se puede ver un diagrama de funcionamiento de un controlador de una central frigorífica de compresores, en el que se compara el **control mediante etapas** (compresores funcionando Todo/Nada) con el **control progresivo** de 0 a 100 % mediante variador de velocidad (en azul).

3.7. Inercia térmica y acumulación de frío en horas valle

Existen varias formas de pagar más barata la energía mediante la **acumulación de frío en horas valle** (Figura 11). Algunas de ellas son:



- **Acumulación de frío en el propio producto.** Por ejemplo, bajando la temperatura de una cámara de congelados de -22 °C a -26 °C durante la tarifa nocturna, consiguiendo luego tener suficiente inercia térmica para un ahorro considerable en las horas punta.
- **Acumulación de frío en tanques de agua glicolada.** En el caso de instalaciones indirectas con fluidos secundarios es posible enfriar dicho fluido a una menor temperatura en horas valle para tener el depósito de inercia más frío en horas punta, pagando menos por la energía. Mediante válvulas mezcladoras se puede obtener la temperatura deseada en los aerofriadores.
- **Acumulación de frío en forma de calor latente.** Por ejemplo, sobreenfriando el NH_3 en los separadores de líquido de instalaciones inundadas, o el CO_2 como fluido caloportador en instalaciones indirectas.



Figura 11. Horas valle y horas punta en invierno y verano

3.8. Free-cooling

El **free-cooling** es el término empleado para definir el **aprovechamiento gratuito de energía del aire exterior** para enfriar nuestro recinto. Si bien es una técnica más extendida en el ámbito de la climatización, también es posible emplearlo en ciertos casos en las instalaciones de refrigeración industrial.

Imaginemos una sala de proceso de una industria cárnica, cuya temperatura se fija entre 12 y 18 °C y que puede requerir **ventilación** mediante aporte de aire exterior. Normalmente el equipo frigorífico tendrá que funcionar para mantener la temperatura del recinto, pero ¿qué ocurriría en invierno si la temperatura exterior fuera por ejemplo a 5 °C ? En ese caso, ¿por qué no emplear el aire exterior para ventilar el recinto y así nos ahorramos el arranque de la instalación frigorífica? Eso es el free-cooling.

Para poder realizar el free-cooling necesitamos una serie de compuertas y una caja de mezcla para poder introducir un cierto porcentaje del caudal de aire procedente del exterior y restringir el paso al aire de retorno (Figura 12).

El criterio para realizar el free-cooling puede ser de dos tipos:

1. **Free-cooling térmico:** si la temperatura exterior es inferior a la del recinto a enfriar.



2. **Free-cooling entálpico:** si la entalpía (sensible y latente) del aire exterior es inferior a la del recinto (Figura 13). Este criterio es interesante en lugares de costa con alta humedad relativa, donde el criterio de temperatura podría ser insuficiente. Si solo tenemos en cuenta la temperatura, estaríamos introduciendo en el recinto un aire más frío, pero con mucha humedad, lo que podría ser contraproducente.

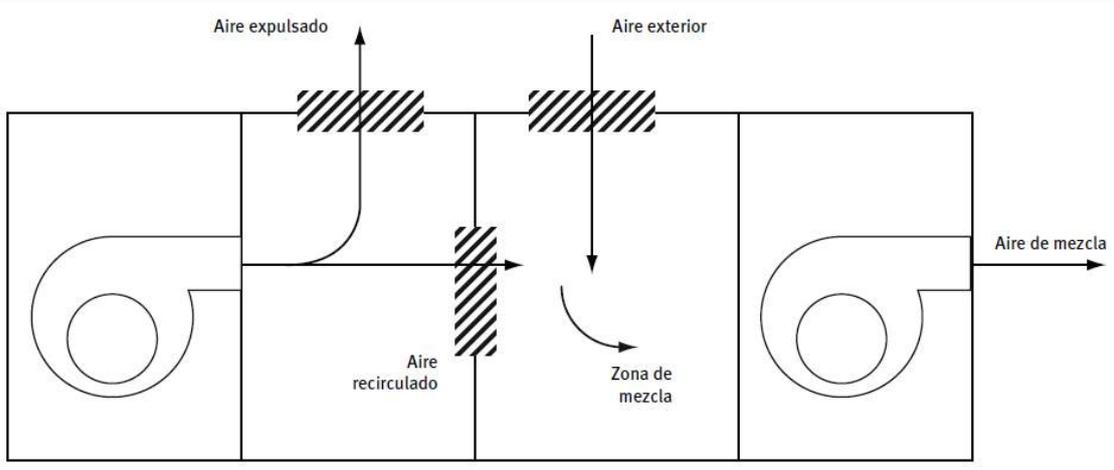


Figura 12. Configuración de caja de mezcla para free-cooling

Otro tipo de free-cooling es el que se puede aplicar en enfriadoras de agua o glicol. En este caso se trata de instalar un **aeroenfriador en serie con el evaporador de la enfriadora** (Figura 14). En verano el fluido se enfriará en el evaporador, mientras que, en invierno, si las condiciones ambientales son adecuadas, se podrá realizar un enfriamiento gratuito a través del aeroenfriador. En temporadas intermedias, como primavera o verano, se puede realizar free-cooling parcial y finalizar el enfriamiento en el evaporador.

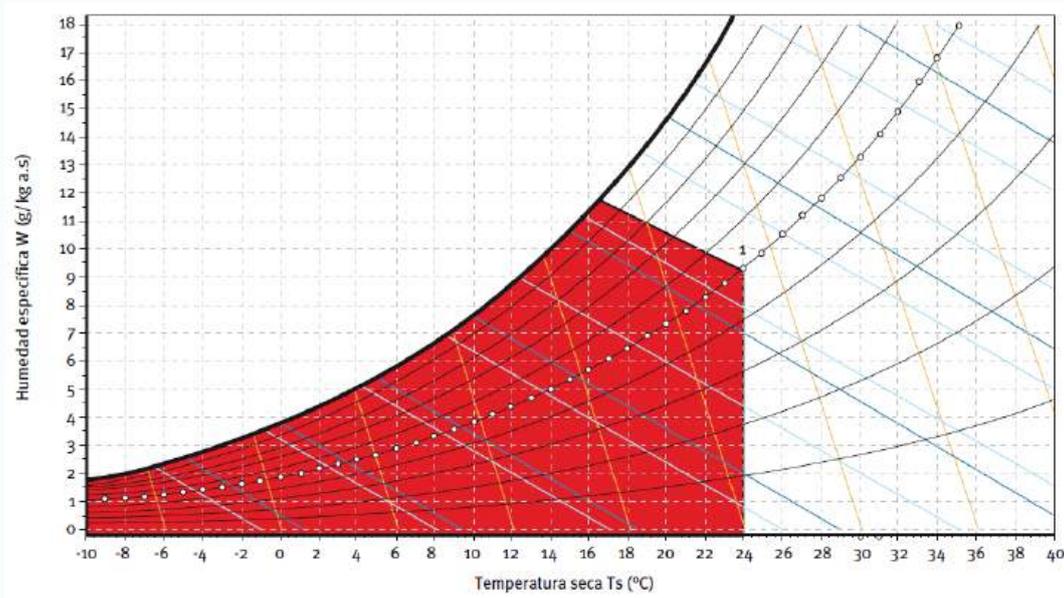


Figura 13. Área de free-cooling entálpico (en rojo) en diagrama psicrométrico



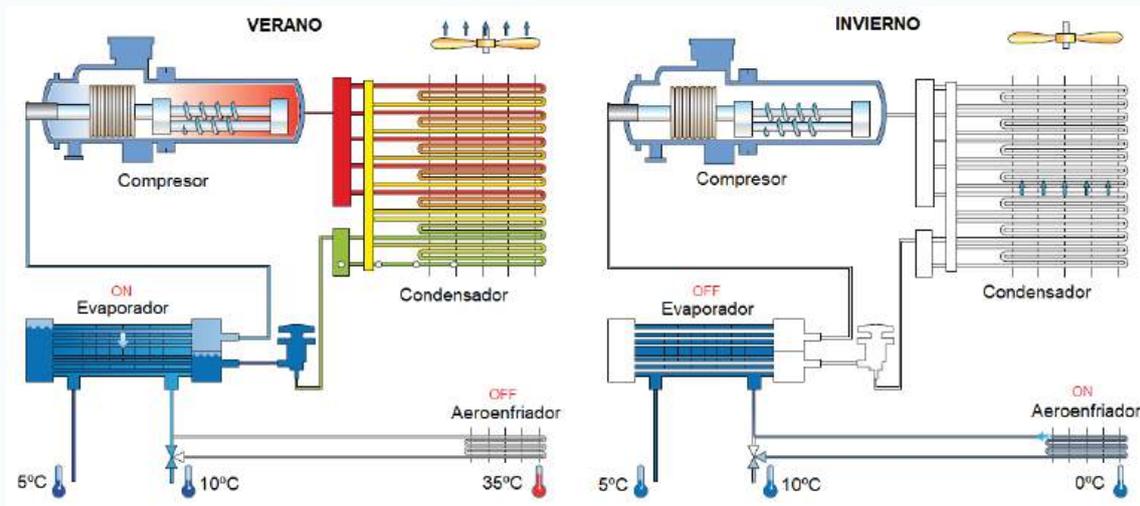


Figura 14. Free-cooling para enfriadoras de agua o glicol

3.9. Recuperación del calor de descarga y condensación

Hoy en día se plantea cada vez más la posibilidad de **aprovechar el calor residual a evacuar en el condensador** para calentamiento de ACS, para precalentar el agua de procesos industriales o para el propio desescarche de los aerofriadores de glicol. El gas descargado por el compresor se encuentra habitualmente a temperaturas comprendidas entre 70 y 80 °C, lo que permite aprovechar calor de alta temperatura para el calentamiento de agua u otros fluidos.

Es posible recuperar el calor total de condensación instalando un condensador por agua en **paralelo** con el condensador principal, obteniendo una gran cantidad de calor recuperada, aunque con una temperatura de agua no muy alta, en torno a 40 °C (para una temperatura de condensación de 45 °C).

También es posible recuperar únicamente el calor del gas de descarga del compresor, justo hasta la temperatura en que comienza a condensarse el refrigerante (Figura 15). En este caso se instalará un intercambiador de calor en **serie** con el condensador, de tal manera que podremos calentar agua a una temperatura mayor (en torno a 60 °C), aunque la potencia calorífica recuperada será inferior.

Por tanto, tenemos dos opciones de recuperación de calor:

- **Recuperación en paralelo con el condensador:** Mayor calor, menor temperatura del agua.
- **Recuperación en serie con el condensador:** Menor calor, mayor temperatura del agua.



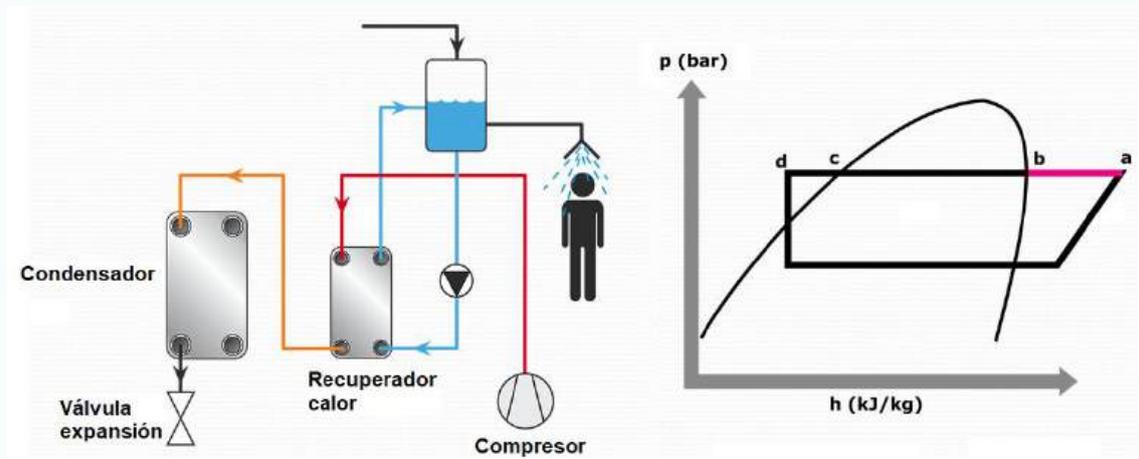


Figura 15. Recuperación de calor para calentamiento de ACS

3.10. Desescarche por gas caliente

El **desescarche por gas caliente** es un sistema clave para ahorrar energía en instalaciones frigoríficas centralizadas. Se trata de aprovechar el calor de los gases de descarga de los compresores para enviarlo a los evaporadores que requieran desescarche (Figura 16). Los gases calientes se condensarán aportando el calor necesario para derretir el hielo del evaporador. Este calor, a diferencia del aportado por las resistencias eléctricas, es **gratuito**.

No obstante, hay que tener en cuenta en estos casos la **regla del tercio**, la cual recomienda que en una planta frigorífica haya un máximo de 1/3 de los evaporadores en modo desescarche, mientras el resto de evaporadores trabajan en modo frío, contribuyendo a la generación de gases calientes para los que están desescarchando.

Como se puede ver en el esquema, se requiere de valvulería específica tanto en la central frigorífica como en los evaporadores. Esto aumenta el coste de implantación, pero el beneficio energético conseguido compensa en poco tiempo la inversión extra a realizar.



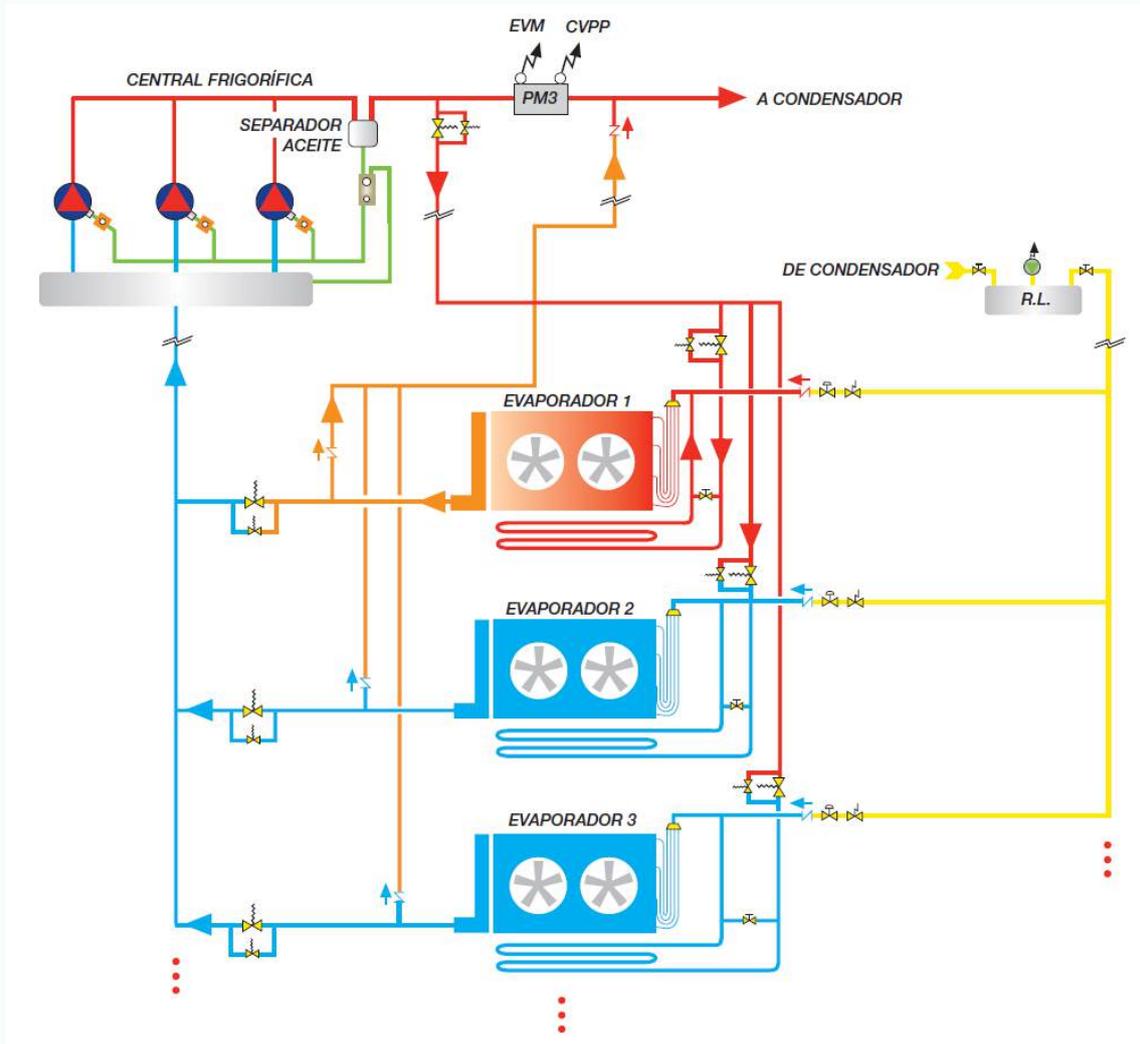


Figura 16. Esquema frigorífico para desescarche por gas caliente



4. INTERNET DE LAS COSAS Y REFRIGERACIÓN 4.0

La evolución tecnológica del sector no solo ha sido en el ámbito de los refrigerantes o de los componentes de los circuitos frigoríficos, también en el **campo del control y de la automatización** ha existido una transformación impensable años atrás.

En los inicios, las instalaciones eran controladas mediante controles mecánicos simples tales como **termostatos analógicos** (Figura 17). La lógica de funcionamiento consistía en arrancar el equipo frigorífico cuando la temperatura de la cámara superaba el valor consignado en el termostato. Este solía combinarse con un **reloj de desescarche** (Figura 18) para programar el horario en el que el equipo debía detenerse para eliminar el hielo del evaporador.



Figura 17. Termostato analógico



Figura 18. Reloj de desescarche analógico

Fue en la década de los 90 cuando comienzan a aparecer en el mercado los **termostatos digitales** (Figura 19), permitiendo un control más preciso de la temperatura de los recintos, así como diversas funciones adicionales con parámetros configurables para el funcionamiento independiente de los ventiladores, válvula solenoide, desescarche del evaporador, etc. También se crearon controladores similares para gestionar el funcionamiento de los compresores de las centrales frigoríficas.

El siguiente paso fue la integración de los diferentes termostatos y controladores en un **sistema global de supervisión centralizada** (Figura 20) para controlar toda la instalación desde una sala de control mediante una interfaz SCADA (Supervision Control And Data Acquisition). Este tipo de sistemas permitió un gran progreso en el mantenimiento preventivo de las instalaciones así como en la detección de anomalías.



Figura 19. Reloj de desescarche analógico



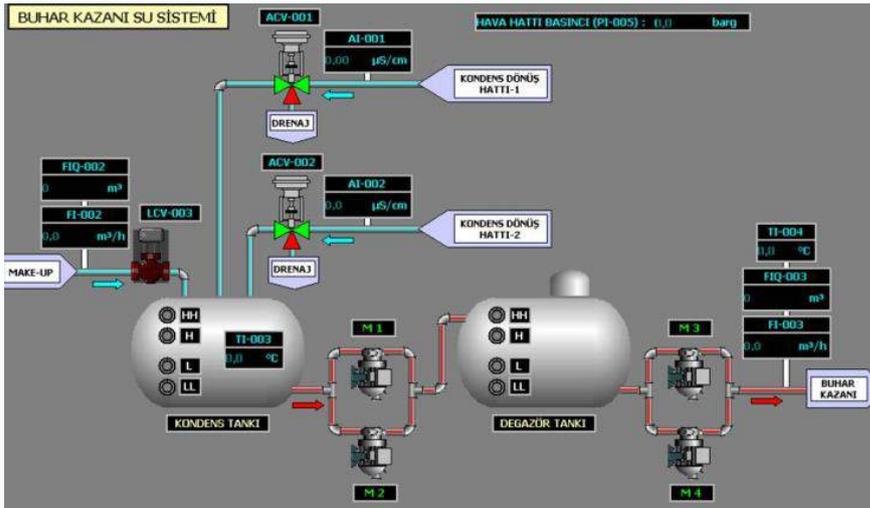


Figura 20. Sistema de supervisión a través de SCADA

Hacia el año 2006, tras el apogeo de los sistemas basados en la **computación en la nube**, comienza a trabajarse en la interconexión de los diferentes dispositivos digitales de las instalaciones. Estos principios aplicados al campo de la refrigeración por empresas como Danfoss, Carel o AKO, permitió establecer una red de comunicación entre los diferentes equipos (Figura 21), consiguiendo ya, no solo disponer de datos del funcionamiento de la instalación, sino que **unos dispositivos manden información a otros** para actuar de manera sincronizada y optimizar así el funcionamiento global de la instalación. Aunque estas redes de comunicación comenzaron siendo poco fiables y eficientes, poco a poco esta tecnología ha ido perfeccionándose dando lugar a las bases de lo que hoy se conoce como **Internet de las Cosas (IoT, Internet of the Things)**, que permite disponer de información relevante de todos los equipos conectados a internet en tiempo real y emplearla para la mejora del rendimiento global del sistema.

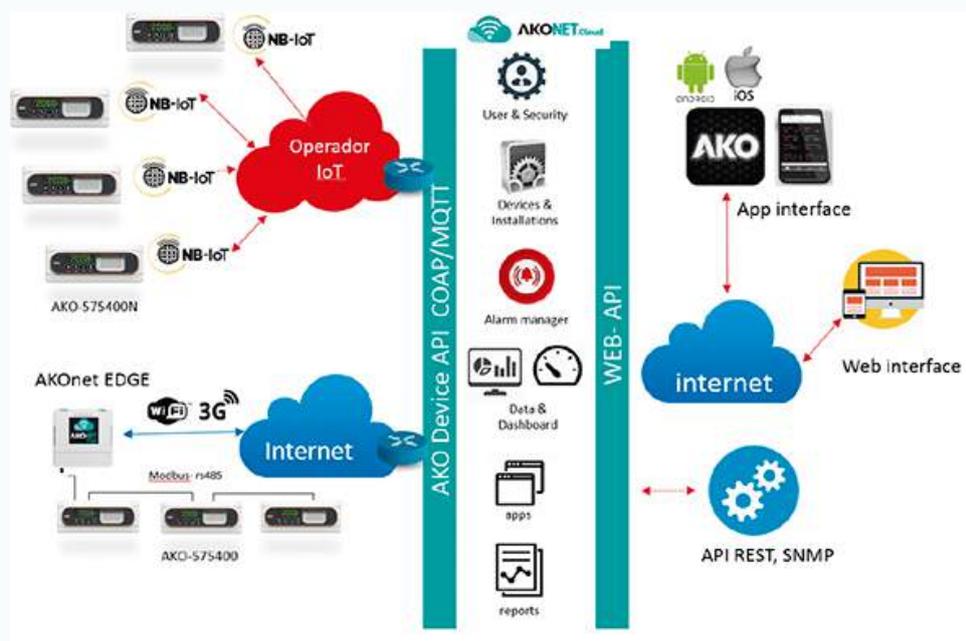


Figura 21. Sistema AKONet Cloud



Pero es en el año 2013 cuando comienzan a sentarse las bases de lo que actualmente se define como **Cuarta Revolución Industrial** o **Industria 4.0**. Esta transformación que estamos viviendo en la actualidad supone un salto más en la evolución tecnológica de la humanidad y es comparada con las otras revoluciones industriales del pasado (Figura 22):

- 1ª Revolución Industrial: Máquina de vapor y mecanización (siglo XVIII)
- 2ª Revolución Industrial: Electricidad y producción en cadena (siglo XIX)
- 3ª Revolución Industrial: Computación y automatización (siglo XX)
- **4ª Revolución Industrial: Sistemas ciberfísicos, IoT e Inteligencia artificial (siglo XXI)**

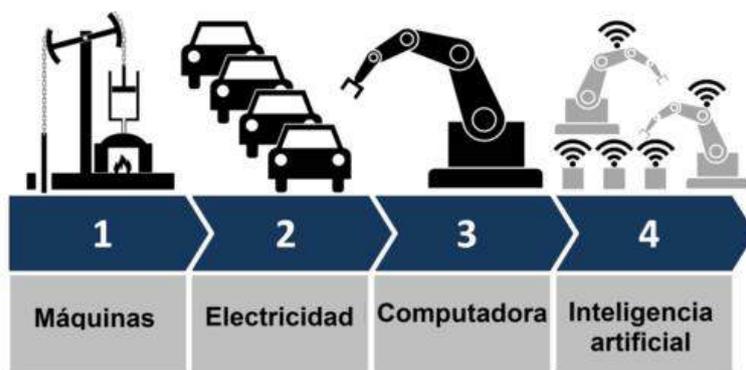


Figura 22. Las cuatro Revoluciones Industriales

El concepto de Industria 4.0 es amplio, y corresponde a una nueva manera de concebir y organizar los sistemas de producción, creando **fábricas inteligentes**, compuestas por equipos y unidades productivas **ciberfísicas**, que no solo dispongan de elementos físicos, sino también de software conectado a internet y en comunicación directa con el resto de elementos de la fábrica. La propia fábrica, como un “todo” se comunicará a su vez a través de internet con dispositivos de todo el mundo, teniendo información disponible de los mercados, oferta y demanda, tendencias sociales, etc, lo que permitirá ajustar o modificar su producción, todo ello basado en algoritmos de **inteligencia artificial** que toman decisiones en base a toda esa inmensa cantidad de información (**Big Data**).

La creación de máquinas inteligentes pasa además por **sistemas de aprendizaje automático (Machine Learning)**, que permita que los equipos entrenen sus algoritmos de respuesta y los adapten en base a la información recibida de la red. Para conseguir esta meta es necesario disponer de **Gemelos Digitales (Digital Twins)**, que son copias digitales de máquinas reales que se comportan de manera idéntica que sus gemelos físicos (Figura 23). El disponer de gemelos digitales de cada equipo o, incluso, de una fábrica completa, permitirá realizar simulaciones previas a la puesta en funcionamiento, o incluso en tiempo real, para plantear diferentes escenarios y conocer la respuesta del sistema con anticipación.





Figura 23. Representación gráfica de un gemelo digital para una bomba centrífuga

Los gemelos digitales se construyen a partir de la información de los sensores que monitorizan el funcionamiento de una máquina real. Los pasos para crearlos son:

1. Recogida de datos reales de funcionamiento.
2. Creación de un modelo físico, que se afina y perfecciona posteriormente con los datos reales.
3. Autocalibración propia del gemelo digital (machine learning) a partir de los datos reales medidos.
4. Gemelo digital operativo para predecir el funcionamiento del gemelo real.

Las aplicaciones de estos gemelos digitales son múltiples: **mejora del rendimiento energético, detección y diagnóstico automático de averías, mejora de futuros diseños de los equipos, control global del proceso industrial, etc.**

En el campo de la refrigeración hay ya numerosas empresas tales como AKO, Intarcon, Danfoss o Carel, que trabajan en la digitalización y comunicación en tiempo real de los elementos instalaciones frigoríficas, permitiendo que los sistemas sean cada vez más "inteligentes" y se adapten mejor a las variaciones en las condiciones de funcionamiento, siendo más eficientes, ahorrando energía y, en definitiva, realizando mejor su trabajo con una mínima incidencia en el medio ambiente. Es lo que en el futuro llegará a ser la **Refrigeración 4.0**.



5. CÓMO FORMARTE PARA EL FUTURO DE LA REFRIGERACIÓN

Si has llegado hasta aquí, tendrás una idea general de las tendencias del sector de la refrigeración. Seas un ingeniero proyectista que trabaja en una oficina técnica, un técnico de campo, o un instalador-mantenedor de instalaciones, si ya estás viviendo de esta profesión o piensas hacerlo en breve, tendrás que enfrentarte tarde o temprano a los profundos cambios del sector que te mostramos en esta guía.

El nuevo Frigorista 4.0 tiene que poseer una serie de habilidades que sus antecesores no requerían. Vamos a comparar brevemente los perfiles profesionales que se requerían para los ingenieros y técnicos frigorista a lo largo del tiempo.

El frigorista tradicional (2.0) – Hasta los años 90



Este profesional pertenece aún a la época de la Industria 2.0. Debía tener conocimientos de **mecánica, hidráulica, fontanería, electricidad** y aplicarlos a las instalaciones de refrigeración y climatización.

A nivel de **ingeniería**, el perfil era el de un Ingeniero o Perito Industrial que con su formación previa fue introduciéndose en el sector a través de **cursos y seminarios ofrecidos por los fabricantes** de equipos principalmente. En la Universidad aún no existían masters y postgrados específicos en el sector de la refrigeración. El factor **autodidacta** era muy importante en estos años.

En cuanto a los **técnicos instaladores y mantenedores** de refrigeración, en la mayoría de casos la formación era adquirida a través de la **experiencia**. Algunos técnicos poseían títulos de formación profesional de áreas afines, tales como mecánica o electricidad, existiendo un reciclaje y adaptación a la profesión de frigorista. En esta época los técnicos no estaban tan especializados, dedicándose indistintamente a las instalaciones frigoríficas comerciales e industriales, y al montaje y mantenimiento de instalaciones de aire acondicionado.



Era la época del R22. La tecnología no estaba tan desarrollada como en la actualidad, los precios eran altos aún, aunque la entrada de las marcas asiáticas permitió el **boom de los equipos split** de aire acondicionado en las viviendas. Fueron tiempos muy buenos para el sector. El número de empresas que instalaba y mantenía estos equipos era relativamente bajo y los márgenes de beneficio eran altos. En refrigeración comercial e industrial el mercado se mantenía relativamente estable por estas fechas.

Para formarse de manera autodidacta había que recurrir a manuales de fabricantes clásicos como Carrier, cursos como los de CEAC, o libros como el de José Alarcón Creus. Aún no existía internet y **el conocimiento no estaba globalizado**. Formarse requería mucho tiempo y esfuerzo, la **experiencia práctica y el método de prueba y error** era en muchos casos la única vía de aprendizaje.

El frigorista moderno (3.0) – Desde los años 90 hasta la actualidad



El frigorista moderno es el perfil profesional de los últimos 20 años, enmarcado dentro de la Industria 3.0, en la que el técnico debe comenzar a dominar aspectos tales como el manejo de **dispositivos electrónicos** (programadores, termostatos digitales, configuración de sondas, etc) e integrarlos adecuadamente dentro de los sistemas frigoríficos, realizando una transición entre la lógica cableada y los microprocesadores. Los ordenadores y la conexión a internet ya son una realidad para esta generación de frigoristas, y el empleo de **autómatas programables** y sistemas de supervisión SCADA comienza a implantarse, principalmente, a nivel industrial. Los avances tecnológicos en este periodo han sido mucho más rápidos que en la generación anterior, existiendo un **crecimiento exponencial**.

En esta época existe la figura del Ingeniero Superior y del Ingeniero Técnico. **La Universidad comienza a ofrecer masters** y cursos de postgrado especializados en refrigeración y climatización. El primero de ellos fue el de la UPC (Universitat Politècnica de Catalunya), que yo mismo cursé en el año 2005. Puedo decir que fue un curso de calidad en el que aprendí mucho de la mano de los mejores profesionales, tanto de la Universidad como de las empresas más consolidadas del sector. Mi primer empleo en la empresa Pecomark fue gracias a este master.



Posteriormente comenzaron a ofrecerse otros masters similares en diferentes Universidades españolas.

El **técnico instalador y mantenedor** de esta generación ya tiene disponibles **ciclos de formación profesional específicos** en instalaciones frigoríficas, climatización y calefacción. La formación básica en el sector está garantizada y los frigoristas tienen unos cimientos sobre los que seguir aprendiendo una vez que entran en el mercado laboral. Comienza a haber una **especialización de las empresas**, diferenciándose habitualmente entre las dedicadas a refrigeración industrial y comercial, y las dedicadas al campo de la climatización.

En esta época comienza el **boom de la refrigeración comercial**, debido a la aparición de nuevas cadenas de supermercados de barrio que sustituyen a las antiguas tiendas y ofrecen una solución diferente a los hipermercados tradicionales. La normativa obliga a que los refrigerantes clorados desaparezcan progresivamente y **aparecen en escena los HFCs**, siendo el R134a, R404A y R410A los refrigerantes más utilizados.

La **proliferación de información en internet** es una realidad. Podemos encontrar manuales de fabricantes, artículos técnicos y un gran número de libros dedicados a la refrigeración y climatización que podemos comprar en las librerías o a través de portales web. El ser autodidacta en esta época ya es más sencillo, aunque lo mejor está aún por llegar.

El frigorista 4.0 – El futuro de la refrigeración



La **última revolución del sector de la refrigeración** ya está aquí, siguiendo la corriente de la Cuarta Revolución Industrial. El **frigorista 4.0** es el representante de esta nueva etapa que ya ha comenzado. Ya no es suficiente con tener conocimientos de mecánica, termodinámica, hidráulica o electricidad, ni siquiera basta con saber configurar los parámetros de un termostato digital o programar un autómatas. Las nuevas instalaciones frigoríficas requieren de ingenieros y



técnicos con gran **visión global de los procesos**, no solo desde el punto de vista técnico, sino también desde el punto de vista del **ahorro energético** o del **impacto ambiental**. Las instalaciones frigoríficas en breve formarán parte de un **sistema global conectado a internet**, cuyo funcionamiento va a depender de miles de datos enviados por dispositivos meteorológicos, almacenes productivos, bases de datos de compra-venta, etc. Por ejemplo, pronto podremos ver como una cámara frigorífica es capaz de aumentar su potencia de enfriamiento con antelación, anticipándose a la llegada de un producto prevista para el día siguiente, conociendo esa información por un sistema de gestión de pedidos en la nube. Esa misma instalación será capaz de realizar una autodetección y diagnóstico de anomalías para favorecer el mantenimiento preventivo, y de autorregularse modificando sus presiones de trabajo si los sensores meteorológicos prevén que el próximo día habrá una subida de temperaturas. **El nuevo frigorista deberá estar capacitado** para gestionar estos complejos sistemas.

Las instalaciones son cada vez de mayor complejidad, siendo las posibilidades de diseño mucho más numerosas. En el pasado reciente el diseño de las instalaciones frigoríficas comerciales era algo "ABC", el R134a para cámaras de temperatura positiva y el R404A para cámaras de temperatura negativa, implementándose en algunos casos instalaciones indirectas con glicol. Como hemos visto a lo largo de esta guía, la normativa F-Gas ha obligado a las empresas a innovar y crear sistemas con **refrigerantes ecológicos** y equipos con **elevada eficiencia energética**. Esto ha generado una gran competencia en el sector y un abanico **amplio de opciones para el proyectista**. Ahora una instalación puede ser viable trabajando con NH₃, CO₂, R1234yf, R290 o R454, con sistemas inundados o de expansión seca, sistemas subcríticos o transcíticos, sistemas directos o indirectos, múltiples combinaciones de subsistemas que a su vez están conectados con otros sistemas externos, por ejemplo, de precalentamiento de agua, ciclos combinados u otros sistemas de ahorro energético de los que ya hemos hablado. Los **refrigerantes NH₃ y CO₂** que en el pasado eran empleados únicamente a nivel industrial, ahora han vuelto a entrar en juego incluso para refrigeración comercial y climatización. Todo esto hace que **los nuevos ingenieros y técnicos deban tener mayor cantidad de conocimientos teóricos**. En el año 2000 un técnico podía reparar una instalación frigorífica sin muchos conocimientos teóricos, con la práctica podía llegar a ser un buen técnico de mantenimiento y reparar averías con solvencia. Los complejos sistemas actuales requieren cada vez más conocimientos teóricos para entender sus principios y esquemas de funcionamiento, y poder abordar de manera eficiente el montaje y mantenimiento de las plantas frigoríficas.

A todo esto se une que la **tecnología avanza tan deprisa** que en ocasiones los programas formativos de las Universidades o de los centros de Formación Profesional van un paso por detrás del mercado. Esto ya lleva años ocurriendo en el campo de la informática, pero ahora, con la revolución digital, es una realidad también en otros sectores, como el de la refrigeración. Los frigoristas tienen que estar **en constante formación**, incluso después de obtener su título académico, ya que de lo contrario dejarán de ser competitivos en el mercado. Hay muchas empresas del sector que están cerrando porque no son capaces de adaptarse a los nuevos cambios. Oigo a muchos frigoristas con más de 20 años de experiencia decir: *"yo no voy a meterme en eso de refrigerar con CO₂"*. Los rápidos cambios tecnológicos les abruman, y



desgraciadamente pronto estarán fuera del mercado. Pero tú no vas a ser uno de ellos, ¿verdad?

¿Qué te ofrecemos desde CoolProject?

Somos una empresa dedicada a la difusión de conocimientos y recursos para facilitar la vida a los ingenieros y técnicos frigoristas. Puedes conocer más de nosotros en nuestra web: [Quiénes somos](#). Actualmente tienes disponibles en nuestro Blog numerosos [artículos y videos técnicos gratuitos](#) para comenzar a formarte. Puedes ver el índice de los artículos del Blog [aquí](#). Ahora **eres un miembro más de nuestra comunidad** y recibirás en tu e-mail todas las [novedades](#) de nuestro Blog.

Si el contenido gratuito se te queda corto y buscas profundizar con una formación más estructurada y tener una base sólida de conocimientos en el sector de la refrigeración, entonces te recomendamos nuestros [libros y cursos de formación en video](#).



LIBRO “MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES FRIGORÍFICAS INDUSTRIALES”



Este libro te permitirá obtener una **base sólida** para abordar el montaje y mantenimiento de las instalaciones frigoríficas. Se ha realizado en colaboración con la editorial Síntesis, especializada en libros de Formación Profesional. Tanto si estudias un ciclo formativo de grado medio o de grado superior, o si eres un profesional en activo y quieres adentrarte en el empleo de los nuevos refrigerantes y nuevas tecnologías, este libro es para ti. Puedes consultar el índice del libro y una presentación del mismo [aquí](#).

ARTÍCULOS Y VIDEOS DE APRENDIZAJE GRATUITOS

- [Videotutorial: Entendiendo el circuito frigorífico \(Nivel Básico\)](#)
- [Videotutorial: Circuito para cámara de temperatura positiva \(Nivel Medio\)](#)
- [Videotutorial: Circuito para cámara de temperatura negativa \(Nivel Medio\)](#)
- [Dinámica de la instalación frigorífica \(I\)](#)
- [Dinámica de la instalación frigorífica \(II\)](#)
- [Enfriamiento de líquidos: Potencia frigorífica necesaria](#)
- [Enfriamiento de líquidos: Selección del equipo y tiempos de enfriamiento \(I\)](#)
- [Enfriamiento de líquidos: Selección del equipo y tiempos de enfriamiento \(II\)](#)
- [Vasos de expansión: Utilidad y mantenimiento](#)
- [Salto térmico y humedad en la cámara frigorífica](#)
- [Cálculo de redes de distribución de aire \(I\)](#)
- [Cálculo de redes de distribución de aire \(II\)](#)
- [Cálculo de redes de distribución de aire \(III\)](#)
- [Cálculo de la carga térmica de calefacción de una vivienda](#)
- [Centrales frigoríficas: Características y funcionamiento](#)



- [Centrales frigoríficas: Selección de compresores](#)
- [Diseño y cálculo de tuberías frigoríficas \(I\)](#)
- [Diseño y cálculo de tuberías frigoríficas \(II\)](#)
- [Diseño y cálculo de tuberías frigoríficas \(III\)](#)
- [Selección de evaporadores](#)
- [Selección del condensador: Aire vs Evaporativo](#)

Desde CoolProject **queremos agradecerte que te hayas unido a nuestra comunidad**, que esperamos que crezca cada vez más. Te mantendremos informado de nuestras novedades y cursos disponibles, así como del lanzamiento de nuestro software [CoolProRoom](#) que será muy pronto. Si aún no lo has hecho, te pedimos también que respondas rápidamente a nuestra [encuesta](#) para conocer tus necesidades y preferencias para los contenidos y cursos de formación. ¡Muchas gracias!

¡Un saludo!

El equipo de CoolProject

