

Sistemas de Refrigeración

Tutorial para el trabajo en campo



giz

por encargo de



Ministerio Federal de
Cooperación Económica
y Desarrollo



México, D.F., Julio del 2015

El Comité Nacional de Productividad e Innovación Tecnológica, A.C. (COMPITE) agradece a la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH por la colaboración y asistencia técnica en la elaboración del presente documento. La colaboración de la GIZ se realizó bajo el marco del “Human Capacity Development” el cual se implementa por encargo del Ministerio Federal Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ). Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad del/ de los autor/es y no necesariamente representan la opinión de COMPITE y/o de la GIZ. Se autoriza la reproducción parcial o total, siempre y cuando sea sin fines de lucro y se cite la fuente de referencia.

Instituciones editoras por ej.: GIZ
Refrigeración – Tutorial para el trabajo en campo, México, D.F., julio de 2015

Edición y Supervisión: GIZ
Autor: Tecener SA de CV
Diseño: GIZ Mexico

Impreso en México

© El Comité Nacional de Productividad e Innovación Tecnológica, A.C. (COMPITE)
Manuel María Contreras 133 p7,
Col. Cuauhtémoc, Del. Cuauhtémoc
C.P. 06500, México D.F.
T +52 55 5322 0700
E promocion@compite.org.mx
I <http://www.compite.org.mx/>

© Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Dag-Hammerskjöld-Weg 1-5
65760 Eschborn/Alemania
www.giz.de

Oficina de Representación de la GIZ en México
Torre Hemicor, Piso 11
Av. Insurgentes Sur No. 826
Col. Del Valle, Del. Benito Juárez
C.P. 03100, México, D.F.
T +52 55 55 36 23 44
F +52 55 55 36 23 44
E giz-mexiko@giz.de
I www.giz.de / www.gtz.de/mexico

Tabla de Contenido

Resumen Ejecutivo	15
1 OBJETIVOS	18
2 CONCEPTOS GENERALES	19
2.1 Leyes de la termodinámica.....	19
2.1.1 Primera Ley de la Termodinámica	19
2.1.2 Segunda Ley de la Termodinámica	19
2.1.3 Transferencia de calor.....	19
2.2 Definiciones asociadas.....	20
2.2.1 Calor específico.....	20
2.2.2 Calor Sensible	20
2.2.3 Calor Latente.....	20
2.2.4 Carga térmica.....	21
2.2.5 Entalpia	22
2.3 Ciclo frigorífico	22
2.3.1 Ciclo de compresión	22
2.3.1.1 El evaporador	24
2.3.1.2 El compresor	25
2.3.1.3 El condensador.....	25
2.3.1.4 La válvula de expansión	26
2.3.1.5 Ciclo cerrado	26
2.3.1.6 Funcionamiento en equilibrio	28
2.3.1.6.1 Lo que ocurre en el evaporador.....	28
2.3.1.6.2 Lo que ocurre en el condensador	29
2.3.1.6.3 Características del compresor	29
2.3.2 Ciclo de absorción.....	30
2.4 Rendimiento de la máquina de frío.....	33
2.4.1 Los indicadores	33
2.4.2 Cálculo del COP a partir del catálogo del fabricante.....	34
2.4.3 Cálculo del COP a partir de mediciones	36
2.4.4 Balance anual energético	38
2.4.4.1 Los consumidores de energía.....	38
2.4.4.2 Condiciones de funcionamiento variable.....	39

3	REFRIGERANTES	40
3.1	Composición química	40
3.1.1	Fluidos refrigerantes fluorados	40
3.1.1.1	CFC (clorofluorocarbonos)	40
3.1.1.2	HCFC (hidroclorofluorocarbono)	41
3.1.1.3	HFC (hidrofluorocarbonos)	42
3.1.1.4	Mezcla de refrigerantes	42
3.1.2	Los refrigerantes de bajo efecto invernadero	43
3.1.2.1	Amoniaco (NH ₃) o R-717	44
3.1.2.2	Los hidrocarburos (HC) como R-290 R-600 ^a	44
3.1.2.3	El dióxido de carbono (CO ₂) o R-744	45
3.1.2.4	El agua (H ₂ O)	45
3.2	Impacto ambiental	45
3.2.1	ODP (Ozone Depletion Potential)	46
3.2.3	GWP (Global Warming Potential)	47
3.2.4	TEWI (Total Equivalent Warming Impact)	47
3.3	Propiedades termodinámicas	48
3.3.1	Presión y temperatura de evaporación y condensación	49
3.3.3	Temperatura de congelación	50
3.4	Criterios de seguridad	50
3.4.1	Alta seguridad	50
3.4.2	Mediana seguridad	51
3.4.3	Baja seguridad	52
4	COMPONENTES DEL SISTEMA	53
4.1	El compresor	53
4.1.1	Compresor a pistón	54
4.1.1.1	Compresor de construcción hermético	55
4.1.1.2	Compresor de construcción semihermético	55
4.1.1.3	Compresor de construcción abierto	56
4.1.1.4	Frío positivo y frío negativo	56
4.1.2	Compresor scroll	57
4.1.3	Compresor tornillo	58
4.1.4	Compresor centrífugo	60
4.3	El condensador	61

4.3.1	Aero-refrigerador	62
4.3.2	Condensador evaporativo.....	63
4.4	La válvula de expansión.....	65
4.4.1	Funcionamiento.....	65
4.4.2	Tecnologías de válvulas de expansión	66
4.4.2.1	Válvula de expansión termostática.....	66
4.4.2.2	Válvula de expansión electrónica.....	67
4.4.2.3	Válvula de expansión capilar	67
4.4.2.4	Válvula de expansión presostática.....	68
4.5	El evaporador.....	68
4.6	La tubería del circuito	69
5	APLICACIONES.....	70
5.1	Frío positivo y frío negativo	70
5.2	Usuarios de sistemas de refrigeración.....	70
5.3	Cámaras y cuartos frigoríficos.....	71
5.3.1	La cámara frigorífica compacta	72
5.3.2	La cámara frigorífica modulable y desmontable.....	73
5.3.3	La cámara frigorífica construida.....	74
5.4	Muebles frigoríficos	74
5.5	Aplicaciones industriales	76
5.5.1	Los tipos de frigoportadores	78
5.5.1.1	Friportadores monofásicos.....	78
5.5.1.2	Friportadores bifásicos (líquido + sólido).....	78
5.5.1.3	Friportadores bifásicos (líquido + vapor)	79
5.5.2	Los tipos de circuitos secundarios	79
5.5.2.1	Conexión en serie.....	79
5.5.2.2	Conexión en paralelo	80
6	REGULACIÓN DEL SISTEMA	83
6.1	Regulación de la válvula de expansión.....	84
6.1.1	Valor mínimo de sobrecalentamiento estable	84
6.1.2	Regulación de la válvula de expansión termostática.....	85
6.1.3	Regulación de la válvula de expansión electrónica.....	85
6.2	Regulación del compresor.....	86
6.2.1	Regulación “Todo o Nada” por arranque/paro del compresor	87

6.2.2	Regulación “Todo o Nada” por vaciado del evaporador (pumpdown)	88
6.2.3	Regulación en cascada	89
6.2.4	Regulación de la velocidad de rotación o sistema “INVERTER”	90
6.2.5	Paro de cilindros (compresores a pistón).....	92
6.2.6	Obturación del orificio de aspiración	92
6.2.7	Regulación por escalón de los compresores tornillo	92
6.3	Regulación del evaporador.....	92
6.3.1	Regulación del lado de la aplicación.....	92
6.3.2	Regulación del evaporador del lado del refrigerante.....	94
6.3.2.1	El regulador de presión de evaporación.....	94
6.3.2.2	Regulación a través de la inyección de gases calientes.....	95
6.3.3	Consigna flotante de baja presión	97
6.4	Regulación del condensador	97
6.4.1	En asociación con una válvula de expansión termostática	98
6.4.2	En asociación con una válvula de expansión electrónica	98
6.5	El deshielo	98
6.5.1	Consecuencia del hielo en las maquinas frigoríficas.....	99
6.5.1.1	Del lado de la cámara de refrigeración o vitrina frigorífica.....	99
6.5.1.2	Del lado del circuito frigorífico	99
6.5.2	Las etapas del proceso de deshielo	100
6.5.3	Regulación del proceso de deshielo	101
6.5.3.1	La regulación por medio de un reloj	101
6.5.3.2	La regulación electrónica inteligente	101
7	COMO REALIZAR EL LEVANTAMIENTO EN CAMPO	103
7.1	Características generales del sistema de refrigeración	103
7.1.1	Antigüedad	103
7.1.2	Aislamiento.....	103
7.1.3	Gas refrigerante	104
7.1.4	Ubicación de los equipos.....	104
7.1.5	Mantenimiento.....	104
7.1.6	COP	105
7.2	Componentes del sistema de refrigeración	105
7.2.1	Compresor	105
7.2.2	Condensador.....	106

7.2.3	Evaporador.....	107
7.3	Verificaciones sencillas de los parámetros de funcionamiento	108
7.3.1	Diferencia: temperatura de evaporación y temperatura de aire a la salida.....	108
7.3.2	Diferencia: temperatura de condensación y temperatura entrada de aire o agua	109
7.3.3	Temperatura de salida compresor	110
7.3.4	Medición de niveles	111
7.4	Caso de una cámara de Refrigeración	111
7.4.1	Condiciones de funcionamiento.....	112
7.4.2	Pérdidas de energía	112
7.4.3	Dimensionamiento.....	113
7.5	Caso de los muebles frigoríficos.....	114
8	FORMATO DE RECOPIACIÓN DE DATOS.....	115
9	MEDIDAS DE AHORRO DE ENERGÍA.....	118
9.1	Mejora del aislamiento	118
9.2	Disminución de las cargas térmicas	119
9.2.1	Disminución de las aportaciones internas.....	120
9.2.1.1	Iluminación	120
9.2.1.2	Cordón caliente.....	120
9.2.2	Disminución de las aportaciones externas.....	120
9.2.2.1	Radiación solar	120
9.2.2.2	Ubicación cerca de otros equipos	120
9.2.2.2.1	Equipos emisores de calor	120
9.2.2.2.3	Equipos similares	121
9.2.2.3	Disminución de la frecuencia de apertura y cierre de puertas	121
9.3	Disminución de los consumos energéticos.....	121
9.3.1	Caso de los muebles frigoríficos.....	121
9.3.1.1	Cierre de los muebles	121
9.3.1.2	Utilización de protecciones	122
9.3.2	Comparativo de la potencia frigorífica instalada	122
9.3.3	Sustitución de equipos	123
9.4	Optimización del proceso de deshielo	123
9.4.1	Ubicación del evaporador	124
9.4.2	Optimización de la técnica.....	124
9.4.3	Optimización de la regulación.....	124

9.5	Mejora del ciclo de frío	125
9.5.1	Mejora de la regulación de la potencia del compresor	125
9.5.2	Mejora del funcionamiento del condensador	126
9.5.2.1	Principio teórico	126
9.5.2.2	Reducir la temperatura del aire exterior	126
9.5.2.3	Evitar la recirculación del aire aspirado.....	126
9.5.2.4	Trabajar con un ventilador de velocidad variable o en cascada	127
9.5.2.5	Trabajar con una válvula de expansión electrónica.....	127
9.5.3	Instalar medidores en la instalación existente.....	127
9.5.3.1	Instalar un medidor horario	127
9.5.3.2	Medición del COP	128
9.5.4	Recuperación de los condensados.....	128
9.6	Recuperación del calor residual al nivel del condensador	129
9.7	Gestión de set points y control	129
9.7.1	Sistema de regulación numérica.....	129
9.7.2	Ajuste de temperaturas	130
9.7.2.1	Aumento de la temperatura de evaporación	130
9.7.2.2	Disminución de la temperatura de condensación.....	130
9.7.2.3	Subenfriamiento.....	131
9.7.2.4	Sobrecalentamiento.....	131
9.8	Mantenimiento adecuado del sistema	131
9.8.1	Condensador.....	132
9.8.1.1	Condensador por aire o aerorefrigeradores	132
9.8.1.2	Condensador por agua	132
9.8.2	Evaporador.....	132
9.8.3	Compresor	132
9.9	Optimización del refrigerante.....	133
9.10	Resumen de ahorros.....	134
10	EJEMPLOS	135
10.1	Cálculo del COP.....	135
10.2	Optimización del proceso de deshielo	136
10.3	Impacto de la apertura de la puerta de una cámara	136
Anexo 1: Condiciones de conservación		138
Anexo 2: Índice EER y SEER		141

Anexo 3 Unidades	143
Bibliografía	144

Lista de Tablas

Tabla 1 Utilización de los CFCs	41
Tabla 2 Utilización de los HCFCs	41
Tabla 3 Utilización de los HFCs	42
Tabla 4 Valores del ODP y GWP	47
Tabla 5 Ejemplos temperatura de evaporación a presión atmosférica	49
Tabla 6 Ejemplos de temperatura de congelación	50
Tabla 7 Refrigerantes de alta seguridad	50
Tabla 8 Refrigerantes de mediana seguridad	51
Tabla 9 Refrigerantes de baja seguridad	52
Tabla 10 Ventajas de la conexión en serie en los circuitos secundarios	80
Tabla 11 Ventajas de la conexión en paralelo en los circuitos secundarios	81
Tabla 12 Correspondencia temperatura y presión de evaporación	109
Tabla 13 Correspondencia temperatura y presión de condensación	110
Tabla 14 Relación de temperatura en muebles frigoríficos	114
Tabla 15 Protecciones disponibles para muebles frigoríficos	122
Tabla 16 Características óptimas para la refrigeración de frutas y legumbres	138
Tabla 17 Condiciones de conservación recomendadas para diversos productos	140
Tabla 18 Tabla de equivalencia de unidades	143

Lista de Ilustraciones

Figura 1 Definición carga térmica	21
Figura 2 Diagrama del ciclo frigorífico de compresión	22
Figura 3 Elementos de un ciclo frigorífico de compresión	24
Figura 4 Funcionamiento del evaporador	24
Figura 5 Funcionamiento del Compresor	25
Figura 6 Funcionamiento del Condensador	25
Figura 9 Funcionamiento de la válvula de expansión	26
Figura 10 Ciclo frigorífico de compresión completo	27
Figura 11 Diagrama entálpico del ciclo frigorífico	27
Figura 12 Evolución de los fluidos en el evaporador	28
Figura 13 Evolución de los fluidos en el evaporador	29

Figura 14	Circuito de enfriamiento por absorción	31
Figura 15	Diagrama del rendimiento teórico de una máquina de frío	34
Figura 16	COP en una cámara de refrigeración	34
Figura 17	Datos de placa de compresor	35
Figura 18	Extracto de catálogo de fabricante	35
Figura 19	Calculo COP ejemplo	36
Figura 22	Hoyo en la capa de ozono del polo sur	46
Figura 23	Compresor a pistón	54
Figura 24	Compresor scroll	54
Figura 25	Compresor de tornillo	54
Figura 26	Compresor centrífugo	54
Figura 27	Corte de un compresor a pistón	55
Figura 28	Compresores a pistón herméticos	55
Figura 29	Compresor semihermético	56
Figura 30	Compresor simple etapa	57
Figura 31	Compresor de doble etapa	57
Figura 32	Compresor Scroll	58
Figura 33	Compresor tornillo	59
Figura 34	Compresor tornillo 2	59
Figura 35	Compresor centrífugo	60
Figura 36	Enfriamiento por aire	61
Figura 37	Enfriamiento por agua	61
Figura 38	Esquema aero-refrigerador	62
Figura 41	Esquema Condensador evaporativo	64
Figura 44	Esquema Válvula de Expansión termostática	66
Figura 45	Foto Válvula de Expansión Termostática	66
Figura 46	Esquema Válvula de Expansión Electrónica	67
Figura 47	Foto Válvula de Expansión Electrónica	67
Figura 52	Cámara de refrigeración	72
Figura 53	Cuarto frío	72
Figura 54	Cámara frigorífica compacta	73
Figura 55	Cámara de refrigeración modulable	73
Figura 56	Mueble frigorífico con convección natural	75
Figura 57	Mueble frigorífico con convección forzada	75

Figura 58 Vitrina frigorífica	75
Figura 59 Mueble frigorífico con contacto directo	75
Figura 60 Ciclo frigorífico con expansión directa	77
Figura 61 Ciclo frigorífico con expansión indirecta	77
Figura 62 Evaporadores conectados en serie en el circuito secundario	80
Figura 63 Evaporadores conectados en paralelo en el circuito secundario	81
Figura 64 Alternativa circuito secundario con válvulas de 3 vías	82
Figura 65 Regulación completa del ciclo frigorífico	83
Figura 66 Valor mínimo de sobrecalentamiento estable	84
Figura 67 Regulación del sobrecalentamiento con una válvula de expansión termostática	85
Figura 68 Regulación del sobrecalentamiento con una válvula de expansión electrónica	86
Figura 69 Regulación "Todo o Nada" por arranque/paro del compresor	87
Figura 70 Regulación "Todo o Nada" por vaciado del evaporador	89
Figura 71 Regulación en cascada de compresores	90
Figura 72 Regulación con variador de frecuencia	90
Figura 73 Funcionamiento "Todo o Nada" vs. Funcionamiento con velocidad variable	91
Figura 74 Mueble frigorífico con convección natural	93
Figura 75 Mueble frigorífico con convección forzada	93
Figura 76 Regulación de la presión de evaporación	95
Figura 77 Regulación del evaporador con inyección de gases calientes	96
Figura 78 Regulación con presión de condensación constante	97
Figura 79 Regulación con presión de condensación flotante	97
Figura 80 Condensador mal ubicado	107
Figura 81 Condensador bien ubicado	107
Figura 82 Aletas en mal estado	107
Figura 83 Formación de hielo en las aletas del evaporador	108
Figura 86 Mirilla indicadora de líquido	111
Figura 87 Indicador de humedad	111
Figura 88 Sello en mal estado de la puerta de una cámara de refrigeración	113
Figura 89 Piso con escarcha (hielo) por el frío que escapa de la cámara	113
Figura 90 Cortinas tipo hawaianas	113
Figura 91 Práctica común para "enfriar" el condensador	128

Figura 92 Resortes de compresor mal ubicados	133
Figura 93 Resortes de compresor bien posicionados	133

Lista de Fotos

Foto 1 Sub-enfriador	26
Foto 2 Condensador 1.....	36
Foto 3 Condensador 2.....	36
Foto 4 Aero-refrigerador 1	63
Foto 5 Aero-refrigerador 2	63
Foto 6 Condensador Evaporativo 1	65
Foto 7 Condensador Evaporativo 2	65
Foto 8 Evaporador 1.....	68
Foto 9 Evaporador 2.....	68
Foto 10 Evaporador 3.....	69
Foto 11 Evaporador 4.....	69

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1 Calor Sensible.....	20
Ecuación 2 COP.....	33
Ecuación 3 EER.....	33
Ecuación 4 Calculo de la potencia al nivel del condensador	37
Ecuación 5 Potencia consumida por el compresor	37
Ecuación 6 Potencia total consumida	37
Ecuación 7 Potencia al nivel del evaporador	38
Ecuación 8 COP de la instalación	38
Ecuación 9 Consumo anual de un sistema de refrigeración.....	39
Ecuación 10 Índice TEWI	47

Listado de Abreviaturas

CFC	Clorofluorocarbono
HCFC	Hidroclorofluorocarbono
HFC	Hidrofluorocarbono
K	Grados Kelvin
°C	Grados Celsius
HP	Horse Power
rpm	Revoluciones por minuto

Resumen Ejecutivo

1. Antecedentes:

En el marco del Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Fortalecimiento del Sector Privado para la Mitigación del Cambio Climático, diversas actividades se desarrollaron durante 2012 y 2013, a fin de formar consultores en eficiencia energética para brindar estos servicios al sector PyME. Como resultado de esta etapa de formación, COMPITE como organización que conduce estas actividades en México, ha desarrollado un nuevo producto de asistencia a las PyMEs basado en un Taller de Eficiencia Energética (TEE) que tiene como objetivo reducir los costos de la operación y de la energía al efficientar el uso de la misma, a través de mejores métodos de proceso y de trabajo.

Para apoyar este nuevo producto en el mercado, se llevaron a cabo experiencias piloto de implementación. Con base en la retroalimentación obtenida de esta primera fase de prueba, se prevé reforzar la capacitación brindada a los consultores de COMPITE a través de tutoriales. El presente material podrá ser utilizado por los consultores de COMPITE para fortalecer la metodología del Taller de Eficiencia Energética.

2. Objetivo y alcance:

Este tutorial sirve de herramienta para los consultores de COMPITE en el desarrollo de los Talleres de Eficiencia Energética, en particular para todo lo relacionado con los sistemas de refrigeración y sus aplicaciones: industriales, cámaras de refrigeración y muebles frigoríficos.

3. Metodología:

Para elaborar el presente documento, se realizó en primera instancia una reunión con los consultores de COMPITE, con el objetivo de entender el contexto de ejecución de los Talleres de Eficiencia Energética, sus conocimientos en relación a la temática desarrollada y sobre todo sus expectativas en cuanto al contenido del tutorial. Posteriormente, se desarrollaron la guía del contenido y el índice del documento, tomando en cuenta el material existente así como las peticiones de los consultores de COMPITE. Finalmente, se investigó, en diferentes fuentes de información electrónica e impresa, los contenidos faltantes por desarrollar.

4. Estructura del documento:

Este documento se divide en una primera parte teórica sobre los conceptos de la refrigeración, partiendo de las leyes de la termodinámica relacionadas pasando por la explicación de los ciclos de compresión y absorción. Una segunda parte trata de los refrigerantes utilizados en estos sistemas enfatizando sus propiedades y niveles de riesgo. Luego se centra sobre la explicación de los componentes de un sistema de refrigeración y describe las aplicaciones

donde los encontramos. El sexto capítulo aporta las bases de una buena regulación del sistema, fundamental al momento de buscar oportunidades de ahorros. En el séptimo capítulo, los consultores podrán encontrar recomendaciones a tomar cuenta al momento de hacer el recorrido de las instalaciones y el octavo el formato de recopilación de datos correspondiente. Finalmente, se presentan las principales medidas de ahorro de energía y la estimación de los ahorros asociados.

5. Resultados clave:

Con este tutorial, los consultores de COMPITE tienen una herramienta que les permite entender y conocer los sistemas de refrigeración del punto de vista de su funcionamiento, aplicaciones y sistema de regulación. Con este conocimiento y la guía de medidas de ahorro de energía presentada, podrán identificar, analizar y calcular las oportunidades de ahorros relacionadas con las aplicaciones de refrigeración de una PyME.

6. Conclusiones:

Esta herramienta refuerza los conocimientos de los consultores de COMPITE y les permite identificar rápidamente, durante el Taller de Eficiencia Energética con la PyME, las principales oportunidades de ahorro relacionadas con los sistemas de refrigeración.

1 OBJETIVOS

Esta guía está dirigida a los consultores de COMPITE que realizan Talleres de Eficiencia Energética en Pequeñas y Medianas Empresas (PyMEs), de 1 a 100 empleados.

Los sistemas de refrigeración no existen en todo tipo de industria pero donde operan representan una fuerte demanda de energía eléctrica. Se encuentran en mayor cantidad en empresas de alimentos, farmacéuticas y para enfriamiento de equipo de proceso en industrias del plástico o polímeros, autopartes y metalmecánica.

Los objetivos son los siguientes:

1. Conocer la teoría básica de los sistemas de refrigeración como son las diferentes tecnologías, los componentes, los refrigerantes, los principios de regulación, etc.
2. Saber realizar un levantamiento en campo de los datos relevantes de los sistemas de refrigeración.
3. Identificar las oportunidades de ahorro de energía y calcular los ahorros de energía correspondientes.

2 CONCEPTOS GENERALES

Los sistemas de refrigeración consisten en ciclos termodinámicos, mediante los cuales es posible tomar calor de una fuente de baja temperatura y transmitirlo a otra de mayor temperatura (como el medio ambiente o el agua).

En esta sección, se recordarán los principios de la termodinámica y se explicará el ciclo de frío.

2.1 Leyes de la termodinámica

2.1.1 Primera Ley de la Termodinámica

La primera ley de la termodinámica establece que la energía no se crea, ni se destruye, sino que se conserva, solo se transforma en otra manifestación.

Entonces esta ley expresa que, cuando un sistema es sometido a un ciclo termodinámico, el calor cedido por el sistema será igual al trabajo recibido por el mismo, y viceversa.

2.1.2 Segunda Ley de la Termodinámica

De la segunda ley, se deriva que, en un proceso natural, el calor fluye en una sola dirección, se transfiere siempre de un cuerpo con mayor temperatura a uno con menor temperatura y nunca al contrario. Si quisiéramos realizar lo contrario sería mediante un proceso artificial, con la intervención de un trabajo.

2.1.3 Transferencia de calor

Cuando un cuerpo está más caliente que su entorno, pierde calor hasta que su temperatura se equilibra con la de dicho entorno. Esta transferencia de calor se puede producir por tres tipos de procesos:

- Conducción: basado en el contacto directo entre dos cuerpos, sin intercambio de materia
- Convección: transporte de calor por medio del movimiento del fluido (ejemplo: al calentar agua en una cacerola, la que está en contacto con la parte de abajo de la cacerola se mueve hacia arriba, mientras que el agua que está en la superficie, desciende, ocupando el lugar que dejó la caliente.)
 - natural
 - forzada
- Radiación: calor emitido por un cuerpo en forma de ondas electromagnéticas

2.2 Definiciones asociadas

2.2.1 Calor específico

El “Calor Específico” de una sustancia es la cantidad de calor en kJ o BTU que requiere para cambiar la temperatura de un kg o libra en 1°C o 1°F, y fluctúa dependiendo de las condiciones de estado (Presión y Volumen) y el estado físico que guarda (si la sustancia es sólido, líquido o gas)

C_p indica el calor específico a presión constante

C_v indica el calor específico a volumen constante

2.2.2 Calor Sensible

Es aquel que puede sentirse o medirse causando movimiento en el termómetro conforme pasa el tiempo, el cuerpo se calienta o se enfría según el caso pero sin producirse cambio en su estado físico.

Toda sustancia sin importar su estado físico, presenta algún grado de calor sensible siempre que se encuentre por encima del cero absoluto.

La expresión con que se determina el flujo de calor es:

Ecuación 1 Calor Sensible

$$Q = m C_p \Delta T$$

Donde:

m = masa del cuerpo donde fluye el calor en [kg/s]

C_p = Calor específico del cuerpo en [kJ/kg°C]

ΔT = Gradiente térmico = T₂ – T₁ en [°C]

2.2.3 Calor Latente

El Calor Latente es aquel que se intercambia mientras la sustancia cambia de estado, ya sea que se esté adicionando o se esté extrayendo calor (se esté enfriando).

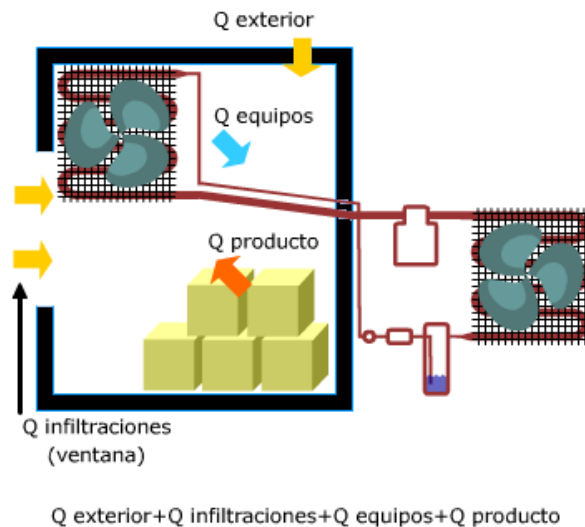
La temperatura en este caso no se incrementa.

Un ejemplo claro es cuando, al salir de una alberca, se recibe una brisa suave; el cuerpo sentirá que el aire es mucho más frío, pero en realidad es la evaporación del agua en la piel lo que nos hace sentir así.

2.2.4 Carga térmica

En los sistemas de refrigeración, se entiende como la cantidad de calor que un sistema debe retirar del producto o del recinto que se desea refrigerar.

Figura 1 Definición carga térmica



Para evaluar el estimado de la carga térmica en un espacio determinado, se debe considerar:

- Datos atmosféricos del local.
- Características de la edificación.
- Orientación del edificio, la dirección de las paredes del espacio a acondicionar.
- Momento del día en que la carga llega a su pico.
- Espesor y características de los aislamientos.
- Cantidad de sombra en los vidrios.
- Concentración de productos en el local.
- Fuentes de calor internas.
- Cantidad de ventilación requerida.

2.2.5 Entalpia

Se define como la medida del contenido de calor total que dispone una masa de una determinada sustancia. Es útil para determinar la cantidad de calor necesaria en cualquier operación donde se produzca transferencia de calor

2.3 Ciclo frigorífico

El principio fundamental, expresado un lenguaje común, es que “no se hace frío, se retira calor”. Así, para transportar calor de un cuerpo a baja temperatura a otro de alta temperatura (en nuestro contexto, para enfriar), es necesario aportar energía.

Para eso, interviene un fluido refrigerante que pasa por una serie de transformaciones termodinámicas. Este ciclo termodinámico evita las reposiciones continuas del gas refrigerante. Cada refrigerante tiene un comportamiento definido y diferente (ver sección 3. Refrigerantes).

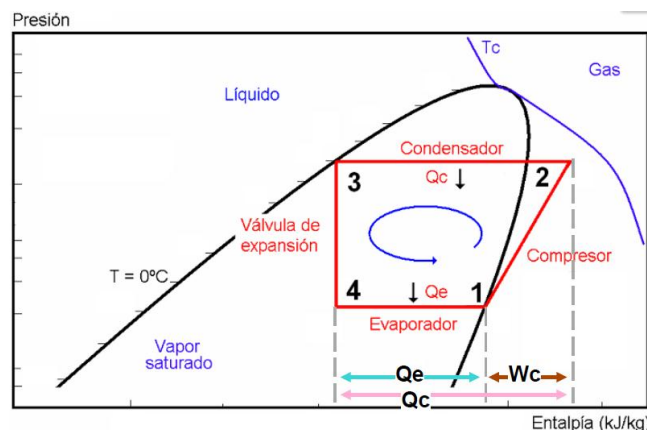
Para la producción de frío con aplicaciones industriales, encontramos dos sistemas:

- El ciclo frigorífico de compresión (ejemplo: los chillers eléctricos)
- El ciclo frigorífico de absorción (ejemplo: los chillers de absorción)

2.3.1 Ciclo de compresión

El ciclo de compresión es característico de cada refrigerante. Se basa en los cambios de estado (líquido-gas y gas-líquido) del fluido refrigerante a temperaturas diferentes en función de la presión. Se muestra un ejemplo de este ciclo en el diagrama termodinámico H-P; H por entalpia (nivel de energía) y P por presión:

Figura 2 Diagrama del ciclo frigorífico de compresión



Fuente: <http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/frio-industrial-y-aire-acondicionado>

Se compone de 4 etapas:

- 1 a 2: compresión
- 2 a 3: condensación
- 3 a 4: expansión
- 4 a 1: evaporación

Para explicar el funcionamiento de este ciclo, nos basaremos en las características del R22 porque es el fluido refrigerante más comúnmente utilizado en los sistemas de refrigeración (ver sección 3 - Refrigerantes).

A la presión atmosférica, el R22 tiene un estado líquido a -45°C y se empieza a evaporar a -40°C . Por lo que, si el R22 a -45°C circula en un serpentín (intercambiador de calor) y que el aire ambiente circula alrededor de este serpentín, el aire se va a enfriar por la diferencia de temperatura, pasará su calor al R22 que se evaporará. Es lo que ocurre en el evaporador de la máquina de frío.

A la presión de 13 bares, el R22 se evapora a 33°C , lo que significa que, si el gas refrigerante R22, a 65°C (estado gaseoso) y a 13 bares, circula en un serpentín y que el aire circula alrededor de este tubo a 20°C , el R22 se enfriará hasta los 33°C y a los 33°C , pasará a un estado líquido, se condensará. Con esta operación, liberará mucho calor. Es lo que ocurre en el condensador.

En resumen, si deseamos que el fluido refrigerante pueda “calentarse”, debe estar a baja presión y baja temperatura, en un estado líquido, de tal manera de que permita la evaporación. Si deseamos que entregue su calor, debe estar a alta temperatura y alta presión, en un estado gaseoso, para poder condensarse.

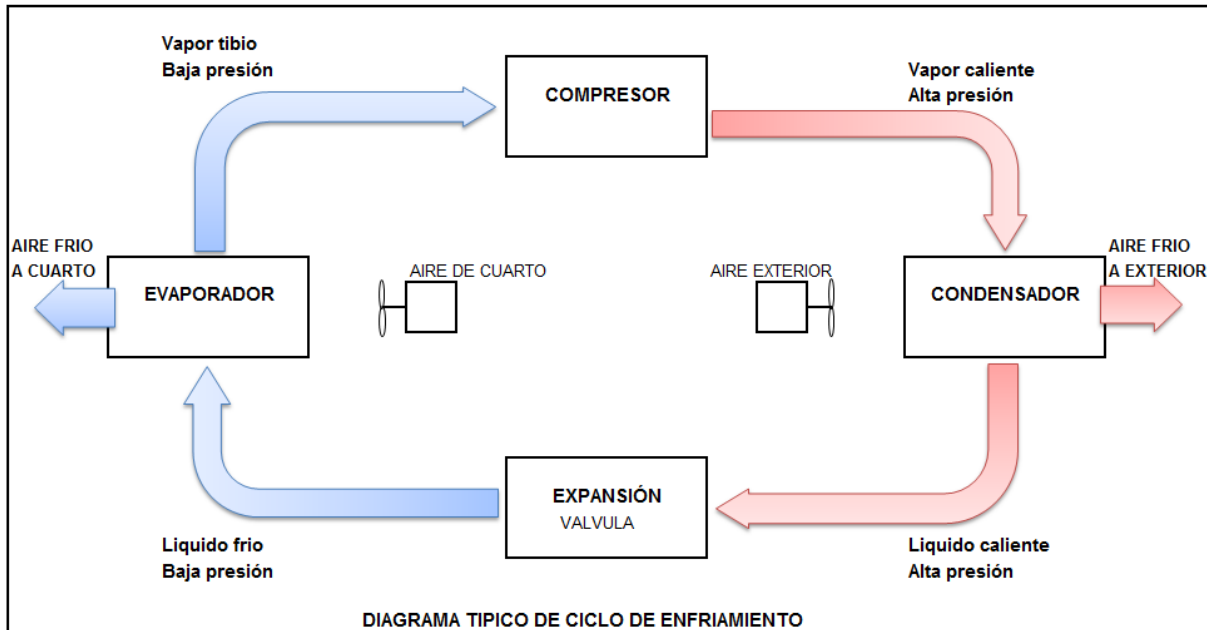
Para cerrar el ciclo en el cual el calor es extraído de un lado y entregado del otro, requerimos de dos elementos adicionales que jueguen con la presión:

- El compresor: que comprime el gas, provocando el incremento de temperatura hasta 65°C en el caso del R22.
- La válvula de expansión, quien “suelta” la presión de un fluido refrigerante en un estado líquido, hasta -40°C (cuando hablamos de congelación) entre 0 y 5°C para el aire acondicionado.

Si estos elementos se instalan en circuito, obtenemos una máquina de frío (por ejemplo los chillers, los refrigeradores, etc.)

Para entender de manera detallada el ciclo frigorífico de compresión, seguiremos el recorrido del fluido refrigerante en los diferentes elementos de la máquina de frío y veremos su evolución en el diagrama termodinámico H-P.

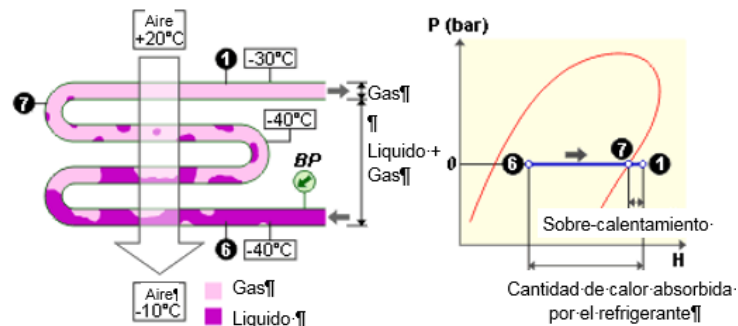
Figura 3 Elementos de un ciclo frigorífico de compresión



2.3.1.1 El evaporador

El fluido refrigerante que está en un estado líquido empieza a evaporarse al “absorber” el calor del fluido exterior. En una segunda etapa, el gas obtenido se sigue calentando por medio del fluido exterior, es la fase de sobrecalentamiento (entre 7 y 1) que asegura que el refrigerante entra en un estado gaseoso al compresor.

Figura 4 Funcionamiento del evaporador

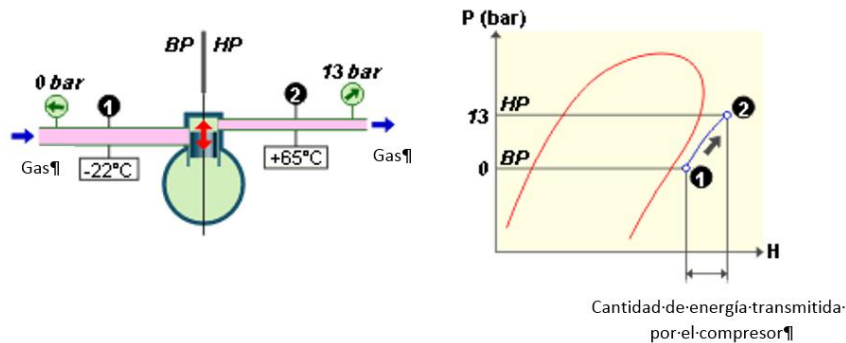


Fuente: <http://www.energieplus-lesite.be>

2.3.1.2 El compresor

El compresor va a “aspirar” el gas refrigerante a baja temperatura y baja presión (1). La energía mecánica del compresor permite incrementar la presión y por consiguiente la temperatura del gas refrigerante. Resulta en un incremento de entalpia.

Figura 5 Funcionamiento del Compresor

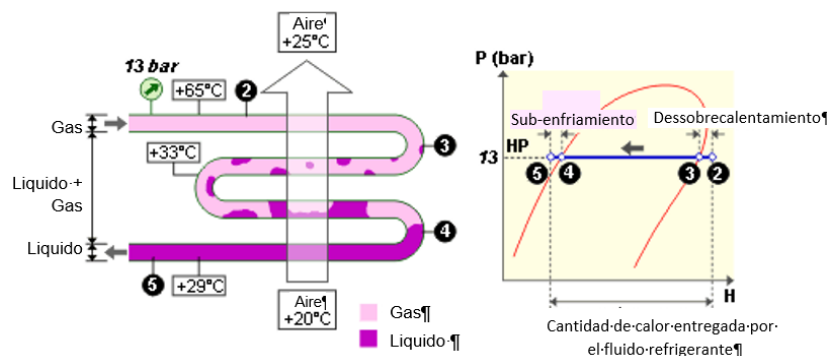


Fuente: <http://www.energieplus-lesite.be>

2.3.1.3 El condensador

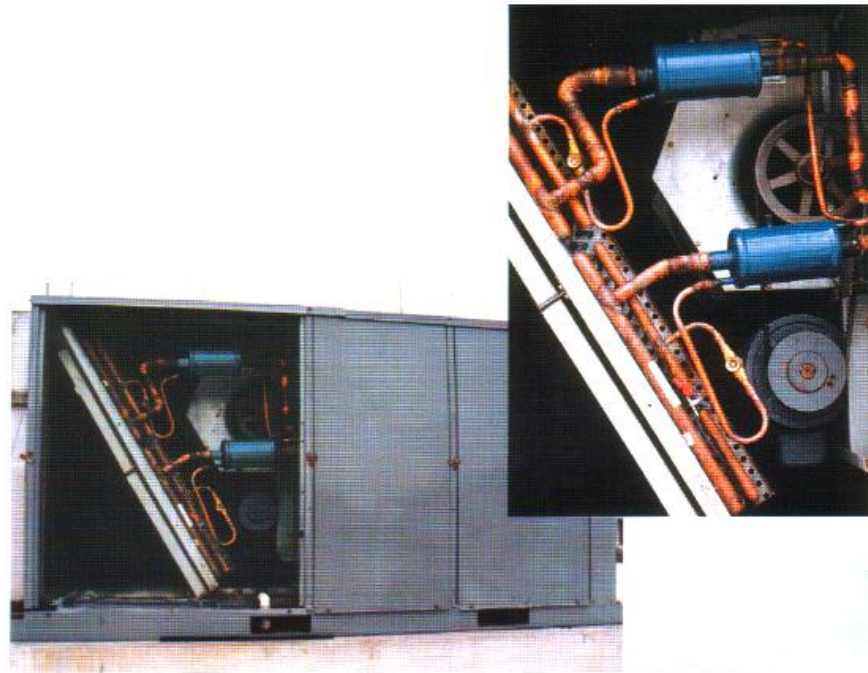
El gas refrigerante caliente, proveniente del compresor va a ceder su calor al fluido exterior. El gas empieza a enfriarse (desrecalentamiento) (2) antes de la aparición de las primeras gotas de líquido (3). Después, inicia la condensación de refrigerante hasta la desaparición de la última burbuja de gas (4). La última etapa consiste en enfriar algunos grados más (subenfriamiento) el líquido antes de salir del condensador.

Figura 6 Funcionamiento del Condensador



Fuente: <http://www.energieplus-lesite.be>

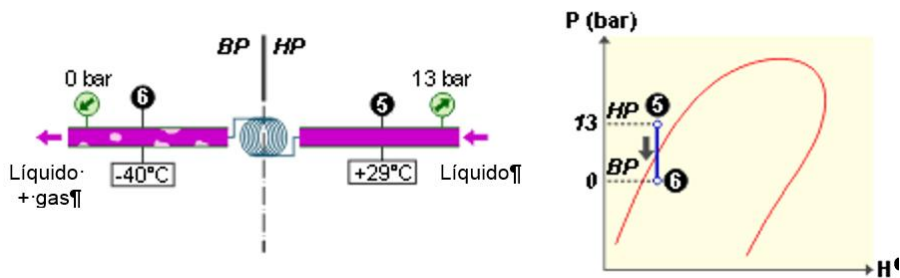
Foto 1 Sub-enfriador



2.3.1.4 La válvula de expansión

La diferencia de presión entre el condensador y el evaporador implica integrar un dispositivo que permita reducir la presión en el circuito. Es el papel de la válvula de expansión. El fluido refrigerante se evapora parcialmente para bajar su temperatura.

Figura 7 Funcionamiento de la válvula de expansión

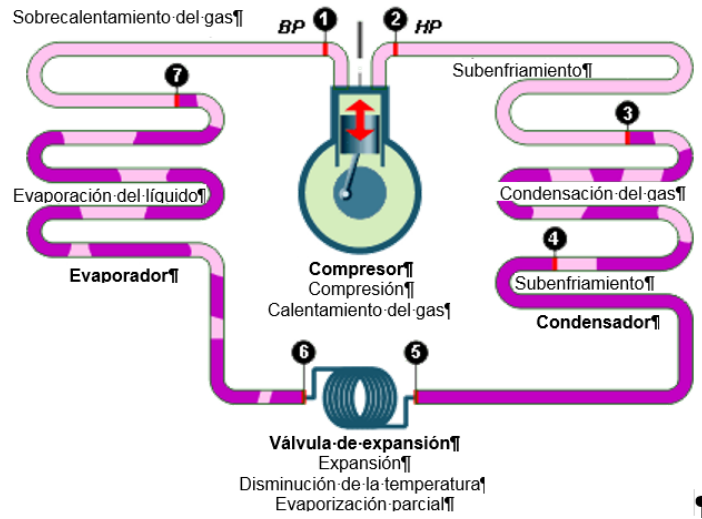


Fuente: <http://www.energieplus-lesite.be>

2.3.1.5 Ciclo cerrado

El ciclo está cerrado, el fluido refrigerante circula bajo la acción del compresor en los cuatro elementos de la máquina de frío.

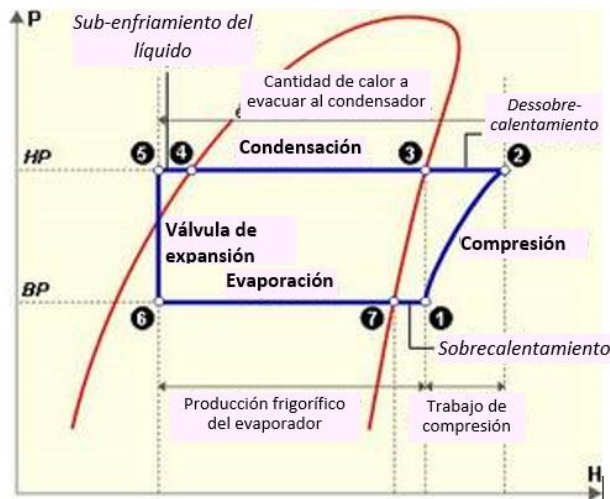
Figura 8 Ciclo frigorífico de compresión completo



Fuente: <http://www.energieplus-lesite.be>

La globalidad del ciclo puede ser representada en el diagrama termodinámico entalpia-presión. Debajo de la curva, se encuentra los estados de mezcla liquido-gas, a la izquierda de la curva, el fluido refrigerante está en un estado líquido (se subenfria), mientras que a la derecha de la curva, el fluido refrigerante está en un estado de vapor (se sobrecalienta).

Figura 9 Diagrama entálpico del ciclo frigorífico



Fuente: <http://www.energieplus-lesite.be>

2.3.1.6 Funcionamiento en equilibrio

El ciclo real de funcionamiento de una máquina de frío se estabiliza a partir de las temperaturas del medio que debe enfriar, del aire exterior donde se evacua el calor y de las características del aparato.

De esta manera, la temperatura de evaporación se va a estabilizar algunos grados por debajo de la temperatura del fluido enfriado por el evaporador (aire o agua) y la temperatura de condensación se va a estabilizar algunos grados arriba de la temperatura del fluido (aire) de enfriamiento del condensador.

Sin embargo, en la realidad, las necesidades de frío cambian de manera constante y las temperaturas del exterior varían todo el año. Este contexto modifica la relación de compresión y la potencia frigorífica. En función del régimen de evaporación y condensación, el compresor “aspirará” una cantidad más o menos grande de refrigerante, definiendo de esta manera la potencia frigorífica al evaporador y la potencia calorífica al condensador.

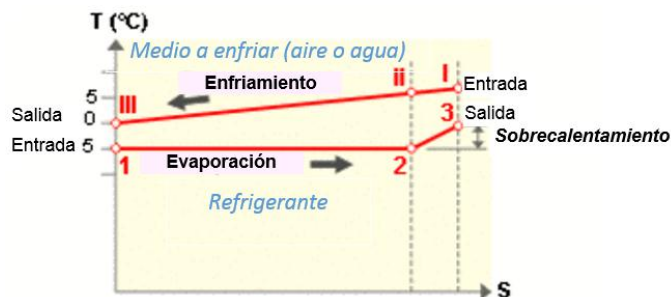
Para visualizar estos cambios, se tomará un ejemplo.

2.3.1.6.1 Lo que ocurre en el evaporador

Imaginemos un mueble frigorífico que funciona en un régimen entre 0°C y 5°C. El intercambio de calor se efectúa en dos fases:

- Evaporación del fluido (ebullición): 1 a 2
- Sobrecalentamiento del gas: 2 a 3

Figura 10 Evolución de los fluidos en el evaporador



Fuente: <http://www.energieplus-lesite.be>

La temperatura de evaporación que se establece es de -5°C , en el caso del refrigerante R134a, corresponde a una baja presión de 1.4 bar (lectura del manómetro), es decir 2.4 bar absoluto, considerando que la presión atmosférica es de 1 bar.

La temperatura del refrigerante debe ser inferior a la temperatura del medio a enfriar.

2.3.1.6.2 Lo que ocurre en el condensador

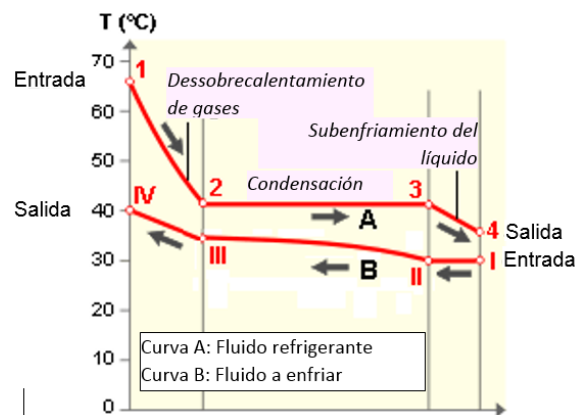
El condensador está directamente enfriado por el aire exterior. Supongamos que la temperatura es de 30°C en el condensador. El intercambio de calor se efectúa en 3 fases:

- Enfriamiento del gas refrigerante caliente proveniente del compresor
- Condensación del fluido refrigerante
- Subenfriamiento del líquido refrigerante

La temperatura de condensación que se establece es de 40°C, en el caso del refrigerante R134a, corresponde a una alta presión de 9.1 bar (10.1 bar absoluto).

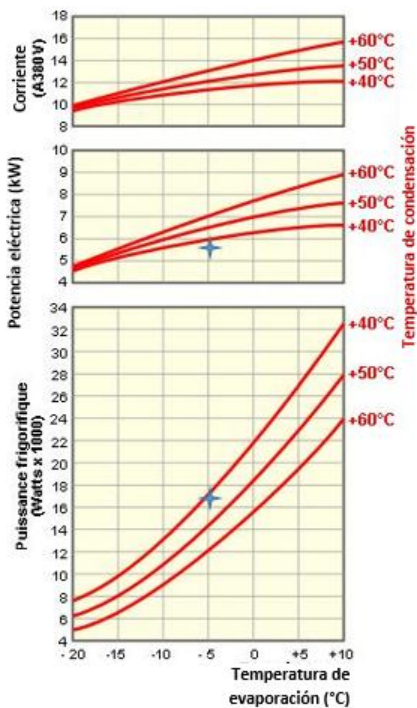
La temperatura del refrigerante debe ser superior a la temperatura del aire exterior.

Figura 11 Evolución de los fluidos en el evaporador



Fuente: <http://www.energieplus-lesite.be>

2.3.1.6.3 Características del compresor



Extracto de un catálogo de compresores

En base a las características nominales del fabricante, se concluye que, para una temperatura de condensación de 40°C y una temperatura de evaporación de -5°C:

- La potencia eléctrica consumida por el compresor es de 6 kW,
- La potencia frigorífica entregada al evaporador es de 17 kW.

Nota: en realidad, se debería recalculer los datos del fabricante debido a que se refieren a unas condiciones de funcionamiento normalizadas del equipo (sobrecalentamiento de 0°C y subenfriamiento de 25°C).

Si suponemos que el condensador no recibió el mantenimiento adecuado, esto deriva en que el intercambio de calor no se hace apropiadamente, por lo que la temperatura en el condensador se incrementa. Para llegar a esta temperatura, el compresor debe trabajar más y por lo tanto se incrementa también la presión de salida de los gases. Una nueva temperatura de condensación se va a establecer, por ejemplo 50°C. Dado que la temperatura del líquido se eleva a la entrada de la válvula de expansión, la temperatura de evaporación se incrementa también de 1°C o 2°C. Si nos referimos nuevamente a los datos del fabricante del compresor, la potencia eléctrica del compresor se incrementa a 6.4 kW mientras que la potencia frigorífica disminuye a 14.2 kW.

Esta situación conlleva a una disminución del rendimiento de la máquina de frío. Hubiéramos llegado al mismo resultado si la temperatura exterior se hubiera incrementado de 10°C.

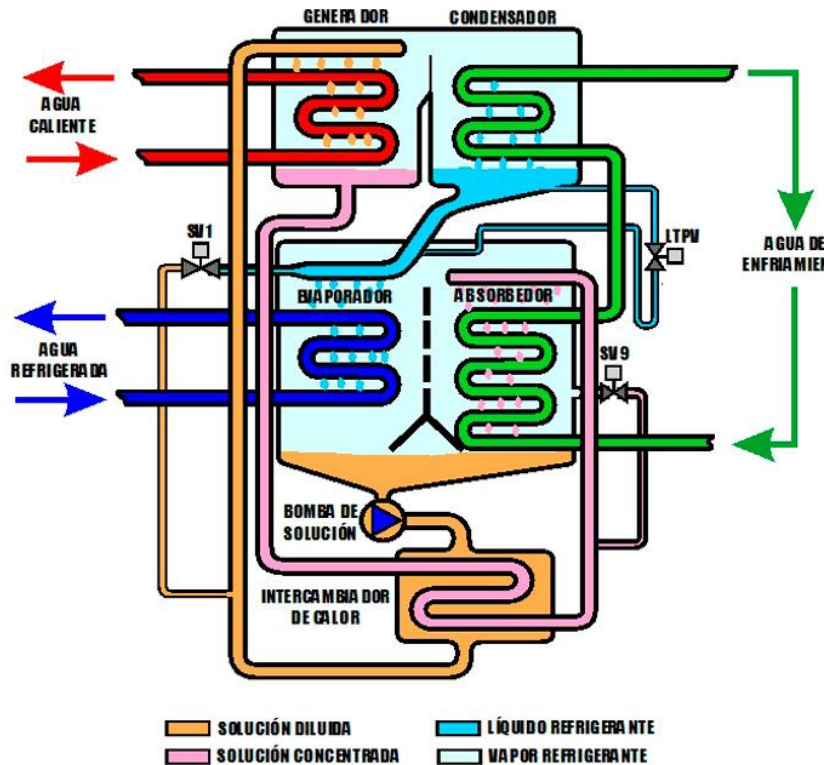
2.3.2 Ciclo de absorción

El ciclo termodinámico de enfriamiento por absorción es similar al de compresión. Se basan en el principio de condensación y evaporación de un refrigerante para la obtención de frío o calor.

La principal diferencia entre estos ciclos está en cómo se trasvasa el refrigerante de la zona de baja presión a la de alta presión. En los ciclos de compresión mecánica, el trasvase se realiza por medio de un compresor, pero en el caso de una máquina de absorción, el proceso es más complejo. El refrigerante vaporizado en la zona de baja presión es captado por una solución (absorbente) que tiene afinidad físico-química hacia él. La mezcla se bombea a la zona de alta presión, y la separación absorbente-refrigerante se produce mediante la aportación de calor. La clave está en que el trabajo de bombeo es mucho menor que el necesario para mover el

compresor en un ciclo de compresión mecánica, con el consiguiente ahorro de energía eléctrica.

Figura 12 Circuito de enfriamiento por absorción



Fuente: www.absorsistem.com

A continuación, se describe el ciclo de manera más detallada:

En el generador, mediante el aporte de energía térmica (puede ser por intercambio de calor con agua calentada por medio de una caldera) se produce la evaporación de parte del refrigerante de la solución de refrigerante-absorbente, concentrándose dicha solución. El vapor del refrigerante se dirige al condensador, mientras que la solución concentrada se dirige al absorbente. Dado que el absorbente no es muy volátil, en condiciones normales de funcionamiento, no debe producirse el arrastre de gotas de solución en el proceso de evaporación, o si se produce será en cantidades despreciables.

En el condensador, como para las máquinas de compresión, el gas refrigerante cede su calor latente y se condensa. Normalmente la condensación del refrigerante se realiza mediante un circuito de agua que se enfría a su vez por medio de una torre de enfriamiento. La presión de trabajo del condensador varía mucho en función del refrigerante que se esté empleando. Si estamos empleando agua, estaremos trabajando por debajo de la presión atmosférica, pero si estamos empleando amoníaco la presión será muy superior a la atmosférica.

La válvula de expansión: como en el ciclo de compresión, el refrigerante pasa por la válvula de expansión para reducir su presión antes de entrar al evaporador. En el caso del agua como refrigerante, la diferencia de presiones para las temperaturas típicas de funcionamiento de una máquina de absorción es pequeña, por lo que con un dispositivo que produzca una pequeña pérdida de carga (como una trampa de líquido) es suficiente. Sin embargo, si el refrigerante es amoníaco, la diferencia de presiones es muy alta, por lo que si es necesario emplear una válvula de expansión para producir la pérdida de carga necesaria.

En el evaporador: a baja presión, el refrigerante llega al evaporador. El refrigerante se evapora tomando la energía necesaria de otro circuito (normalmente agua), produciéndose el efecto frigorífico. Es importante indicar la necesidad de que no se produzca arrastre de absorbente, ya que modificaría la presión de trabajo en el evaporador. En cuanto a las presiones de trabajo, en caso de trabajar con vapor de agua como refrigerante, seguiremos trabajando por debajo de la presión atmosférica, un poco más aún, mientras que si empleamos amoníaco seguiremos trabajando por encima de la presión atmosférica, aunque no tanto como en el condensador.

En el absorbedor: Una vez abandonado el evaporador, el refrigerante se dirige hacia el absorbedor para cerrar el ciclo. Para ello se ponen en contacto el refrigerante y la solución concentrada que proviene del generador. La solución concentrada absorbe el refrigerante diluyéndose la solución, volviendo a las condiciones de partida. Dicho proceso de mezcla es exotérmico, por lo que es necesario evacuar el calor generado para que dicho calor no eleve la temperatura del absorbedor y se ralentice el proceso de mezcla. Para ello se emplea un circuito auxiliar de agua que evacua dicha energía y posteriormente la disipa en la torre de refrigeración. Normalmente, con el mismo circuito de agua, se enfría el absorbedor y el condensador, primero pasa por el absorbedor, y luego pasa por el condensador.

Una vez se ha producido la mezcla, la bomba se encarga de elevar la presión de la solución hasta la presión de trabajo. Existe una pérdida de carga en el paso del condensador al evaporador y luego, con la impulsión de la bomba, la mezcla llega hacia el generador.

En el intercambiador: Por último, antes de llegar al generador, la solución pasa por un intercambiador de calor donde entra en contacto con la solución concentrada que proviene del generador y se dirige al absorbedor, disminuyendo la temperatura de ésta, y aumentando la suya. Con esto se consigue disminuir las necesidades de refrigeración del absorbedor y también el aporte energético necesario a realizar en el generador (ya que la solución de partida ingresa en el generador a mayor temperatura).

Las máquinas de absorción son de gran tamaño (mayor que las de compresión) e incorporan torre de refrigeración.

Existen máquinas de simple efecto, funcionando con temperaturas al nivel del generador de 70-90°C y máquinas de doble efecto con temperaturas al nivel del generador de 140-180°C. Los equipos de doble efecto contienen adicionalmente un generador, un condensador y un intercambiador de calor con el ciclo de simple efecto a un nivel de presión superior.

Los equipos que se encuentran más comúnmente son:

- Agua / Bromuro de litio para aplicaciones de aire acondicionado generalmente: el agua es el refrigerante y el bromuro de litio es absorbedor
- Amoniaco / Agua para aplicaciones de refrigeración industrial (<5°C): en este caso, el amoniaco es el refrigerante y el agua el absorbedor

2.4 Rendimiento de la máquina de frío

A partir del análisis del funcionamiento de la máquina de frío, podemos deducir su rendimiento energético.

Es la relación entre la cantidad de calor absorbida por el evaporador y la cantidad de energía eléctrica total consumida por la instalación, es decir el compresor y los auxiliares (ventilador, bombas, etc.).

2.4.1 Los indicadores

La manera más conocida de calcular es el rendimiento es a través del COP, por sus siglas en inglés, Coeficient of Performance:

Ecuación 2 COP

$$COP = \frac{\text{Calor extraído (kW)}}{\text{Trabajo del compresor (kW)}}$$

Para calcular el rendimiento, se conoce también el EER, por sus siglas en inglés Energy Efficiency Ratio (ver Anexo 2.):

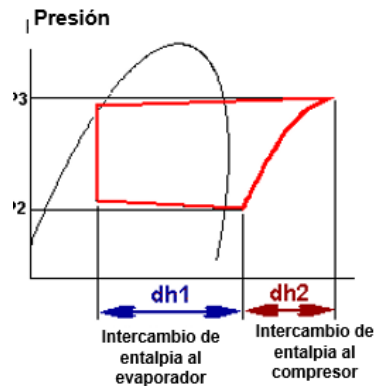
Ecuación 3 EER

$$EER = \frac{\text{Capacidad frigorífica (BTUh)}}{\text{Potencia del compresor (W)}}$$

El SEER, Seasonal Energy Efficiency Ratio se refiere al EER durante un periodo de tiempo.

Si retomamos el diagrama termodinámico H-P, el COP se mide como la relación entre dh1 y dh2 de la figura a continuación:

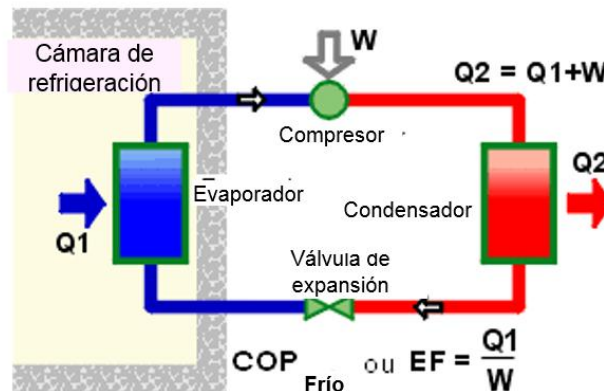
Figura 13 Diagrama del rendimiento teórico de una máquina de frío



Lo que muestra el diagrama anterior es que la suma de la energía captada al nivel del evaporador y de la energía utilizada por el compresor, debe ser evacuada por el condensador hacia el aire exterior. La máquina de frío tendrá una eficiencia buena en la medida que requiere poca energía eléctrica al nivel del compresor para alcanzar una potencia frigorífica al evaporador.

Para una cámara de refrigeración, evaluar el rendimiento del equipo, es establecer la relación en la energía frigorífica entregada (Q_1) y la energía eléctrica consumida por el compresor (W).

Figura 14 COP en una cámara de refrigeración



2.4.2 Cálculo del COP a partir del catálogo del fabricante

El catálogo del fabricante del equipo permite calcular el COP en las condiciones nominales de funcionamiento.

Ejemplo: datos de un compresor

Figura 15 Datos de placa de compresor



A partir de los datos de placa, se puede encontrar en Internet, las características del equipo en el catálogo del fabricante en línea.

Figura 16 Extracto de catálogo de fabricante

	Temperatura de condensación [°C]	Temperatura de evaporación [°C]									
		-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5
Potencia frigorífica [kW]	30	1,39	1,97	2,74	3,70	4,85	6,2	7,75	9,55	11,55	13,75
	40	1,06	1,57	2,25	3,1	4,15	5,35	6,75	8,35	10,15	12,15
	50	0,77	1,21	1,81	2,56	3,45	4,55	5,8	7,2	8,85	10,6
Potencia eléctrica [kW]	30	1,23	1,44	1,65	1,86	2,05	2,23	2,37	2,46	2,51	2,49
	40	1,19	1,43	1,69	1,95	2,2	2,43	2,64	2,82	2,95	3,02
	50	1,14	1,4	1,69	1,99	2,3	2,59	2,86	3,11	3,32	3,48

Fuente: <http://www.ecopeland.com>

A partir del catálogo, podemos deducir las características siguientes para una temperatura de evaporación de -10°C, utilizando el R22.

Figura 17 Calculo COP ejemplo

Conceptos	Temperatura de condensación	
	30°C	40°C
Potencia frigorífica (kW) - A	7.75	6.75
Potencia eléctrica (kW) - B	2.37	2.64
COP (=A/B)	3.27	2.55

Conclusión: mayor es la temperatura en el condensador, menor es el rendimiento del compresor. En general, las condiciones del clima condicionan el funcionamiento del circuito frigorífico.

Foto 2 Condensador 1



Foto 3 Condensador 2



Si es posible, es mejor calcular el rendimiento global de la instalación frigorífica, considerando el consumo eléctrico de los ventiladores de los condensadores, las bombas de agua, etc.

OJO: La energía mecánica de los ventiladores y de las bombas (equipos auxiliares) se deteriora en calor, así que se incrementa el consumo eléctrico y se disminuye la potencia frigorífica disponible.

2.4.3 Cálculo del COP a partir de mediciones

El COP obtenido a partir del catálogo del fabricante es un dato teórico, que puede ser diferente del COP real de la máquina de frío, dado que no considera siempre el consumo de los

auxiliares, las condiciones particulares de funcionamiento y de mantenimiento, etc. Calcular el COP real o un aproximado permite determinar anomalías de la instalación y oportunidades de ahorro de energía.

Calcular el COP implica medir aproximadamente el diferencial de temperaturas en los intercambiadores de calor de las instalaciones de refrigeración condensadas por aire. Para eso, las mediciones deben ser realizadas durante un tiempo “estable” en el cual la instalación funciona a alta carga: compresor a plena carga, ventiladores y auxiliares en funcionamiento continuo, temperatura exterior e 20°C a 30°C.

La metodología consiste en medir:

- La temperatura del aire aspirado por el condensador T_{ec} (en °C) y la temperatura del aire a la salida del condensador T_{sc} (en °C) (lo más cerca posible de la salida, para evitar que este aire sea mezclado con el aire ambiente),
- La temperatura del aire aspirado por el evaporador T_{ee} (°C) y la temperatura del aire sacado por el evaporador T_{se} (°C)
- Con un anemómetro, la velocidad v del aire recorriendo el condensador (m/s)
- Con medidor de consumo, la energía consumida por el compresor únicamente Q_a (en kWh) y eventualmente la energía consumida por la totalidad de instalación Q_t (en kWh),
- El tiempo de funcionamiento del compresor t (en horas)
- La superficie frontal del condensador S (en m²)

A partir de estos datos, podemos calcular la potencia al nivel del condensador (P_{cond}), en kW:

Ecuación 4 Cálculo de la potencia al nivel del condensador

$$P_{cond} = S \times v \times 1.2 \times (T_{sc} - T_{ec})$$

El factor de 1.2 corresponde al calor específico C_v del aire (1.2 kJ/m³.K) y debe estar corregido en función de la temperatura del aire.

También podemos calcular:

- La potencia consumida por el compresor (P_{comp}) en kW:

Ecuación 5 Potencia consumida por el compresor

$$P_{comp} = \frac{Q_a}{t}$$

- La potencia total consumida la instalación (P_{total}) en kW:

Ecuación 6 Potencia total consumida

$$P_{total} = \frac{Q_t}{t}$$

En base a lo anteriormente descrito, se calcula fácilmente la potencia al nivel del evaporador:

Ecuación 7 Potencia al nivel del evaporador

$$P_{evap} = P_{comp} + P_{cond}$$

Así como el COP:

Ecuación 8 COP de la instalación

$$COP = \frac{P_{cond}}{P_{comp}}$$

Con un manómetro, se mide la presión de aspiración y de descarga al nivel del compresor. Al conocer el refrigerante utilizado, podemos deducir de las tablas termodinámicas la temperatura de evaporación y de condensación del refrigerante. Así podemos deducir el punto de funcionamiento de la máquina de frío y verificar los valores encontrados contra los datos del fabricante y los valores de diseño de la instalación.

Este método no está tan preciso, según la precisión de las mediciones realizadas. Sin embargo, lo valioso es que nos permite comparar el COP medido contra el COP de referencia del fabricante y también, al repetir las mismas mediciones a ciertos intervalos de tiempo, comparar los valores entre sí.

2.4.4 Balance anual energético

El cálculo del COP a partir de mediciones puntuales nos da una imagen de la situación a un instante. Sin embargo, a otro momento, el valor del COP será diferente de acuerdo a las condiciones de funcionamiento, en particular de las temperaturas del aire al nivel del condensador. Con el fin de calcular de manera más precisa los ahorros de energía asociados a una mejora en la instalación, es necesario calcular el balance de energía anual de la instalación (ciclo operativo de la instalación, por las condiciones climáticas correspondientes).

El cálculo de este balance es complejo.

2.4.4.1 Los consumidores de energía

Los equipos o componentes que consumen energía eléctrica son:

- El compresor Q_{comp}
- Los auxiliares permanentes (ventiladores, bombas, etc.) $Q_{aux p}$
- Los auxiliares no permanentes $Q_{aux np}$

- El eventual desescarche (esta operación incrementa también las necesidades de frío al producir calor al evaporador que deberá ser compensado por un funcionamiento adicional del compresor) Q_{des}
- Las pérdidas de carga de la red de distribución de frío, que incrementa el tiempo de funcionamiento del compresor P_{carga} .

En base a lo anterior, el consumo anual de la instalación es de:

Ecuación 9 Consumo anual de un sistema de refrigeración

$$Q_{ins} = Q_{comp} + Q_{auxp} + Q_{auxnp} + Q_{des} + P_{cargas}$$

2.4.4.2 Condiciones de funcionamiento variable

Para calcular las cantidades de energía de cada componente de la fórmula anterior, es incorrecto multiplicar la potencia nominal de cada equipo consumidor de energía eléctrica (compresor, ventilador, bombas, etc.) por las horas de funcionamiento... el cálculo es más complicado... en efecto, estos equipos no siempre trabajan a carga nominal, sino que su carga varía según las condiciones de funcionamiento del sistema.

La potencia del compresor depende de las necesidades reales de frío a lo largo de un ciclo operativo (por ejemplo un año) y las necesidades de frío están asociadas a una cierta temperatura en el evaporador y una temperatura en el condensador. Si además, consideramos que la temperatura del fluido de enfriamiento en el condensador, generalmente el aire exterior, varía cada hora del día, el cálculo se complica aún más.

Por lo tanto, para calcular el consumo de energía de un sistema de refrigeración, es necesario modelar la instalación, integrando las potencias de los equipos consumidores de energía, en cada régimen de funcionamiento del ciclo operativo. Para eso, se debe determinar cómo varían las necesidades de frío y la cantidad de horas correspondiente a cada necesidad. La modelación puede ser tan precisa como lo requiera, modelación por hora, para cada hora del año, por día o por mes. El cálculo resulta al final complejo!!!

En la práctica, para conocer con certeza el balance de energía del sistema, se instala un medidor de energía eléctrica a la entrada de la instalación y se exportan los datos históricos del sistema de control en una temporada o ciclo operativo.

3 REFRIGERANTES

Existen varias formas de clasificar los refrigerantes según diferentes criterios:

- De acuerdo con su composición química relacionada directamente con el grado de destrucción de la capa de ozono.
- De acuerdo con su función, dependiendo si se usa directamente en el sistema, o si es solo un agente para transportar el frío que se produce con otro refrigerante;
- De acuerdo con el grado de seguridad, teniendo en cuenta su toxicidad, reactividad y límites de explosión.

3.1 Composición química

3.1.1 Fluidos refrigerantes fluorados

Los fluidos refrigerantes fluorados son en parte responsables de la destrucción de la capa de ozono y contribuyen también a incrementar el efecto invernadero. Las interacciones entre estos dos fenómenos son reales y de una gran complejidad.

De distinguen tres tipos:

- CFC
- HCFC
- HFC

3.1.1.1 CFC (clorofluorocarbonos)

Son compuestos de moléculas de carbono, cloro y flúor. Son estables, lo que les permite llegar a la estratósfera sin mucho problema. Ahí, cuando se transformen, contribuyen a la destrucción de la capa de ozono.

En Europa, está prohibido producir estos refrigerantes desde enero del 1995. En México, tampoco se producen desde 2005. Este proceso dio inicio en 2003 y culminó en septiembre de 2005 con el cierre de la producción de los CFC. México adelantó en casi cinco años el cumplimiento de su compromiso internacional.

A continuación, enlistamos los CFCs y su principal utilización en sistemas de refrigeración.

Tabla 1 Utilización de los CFCs

R-11	Chiller (enfriador) de baja presión
R-12	Principalmente para equipos de refrigeración doméstico y de aire acondicionado automotriz. Se encuentra también en los chillers centrífugos, enfriados por agua
R-13	Pocas utilizaciones en aplicaciones de frío de muy baja temperatura
R-14	Pocas utilizaciones en aplicaciones de frío de muy baja temperatura
R-113	Abandonado antes de su prohibición
R-114	Bombas de calor y aire acondicionado de los submarinos.
R-115	Refrigerante no utilizado solo pero en el R-502, mezcla azeotrópico muy utilizado en aplicaciones comerciales de frío de baja temperatura.

3.1.1.2 HCFC (hidroclorofluorocarbono)

Son compuestos de moléculas de carbono, cloro, flúor e hidrogeno. Son menos estables que los CFC y destruyen en menor medida la capa de ozono.

Se les llama “sustancias de transición”. En Europa, está prohibido producir estos refrigerantes desde enero del 2015. En México, durante la 19ª Reunión de las Partes del Protocolo de Montreal se marcó un hito, al decidir acordar un ajuste al calendario para eliminar de manera temprana (10 años antes, del 2040 al 2030) la producción y el consumo de hidroclorofluorocarbonos (HCFCs).

A continuación, enlistamos los HCFCs y su principal utilización en sistemas de refrigeración.

Tabla 2 Utilización de los HCFCs

R-22	Refrigerante utilizado comúnmente en aplicaciones de frío industrial y en aire acondicionado.
R-123	Remplaza el R-11 en los chillers centrífugos.
R-124	Utilizado en ciertas mezclas de refrigerantes.

3.1.1.3 HFC (hidrofluorocarbonos)

Son compuestos de moléculas de carbono, flúor e hidrogeno. No contienen cloro, por lo cual no participan a la destrucción de la capa de ozono. Sin embargo, los HFC tienen un índice Global Warming Potential (contribución al efecto invernadero) sobre 100 años elevado.

En Europa, se está implementando medidas para reducir su utilización hasta 2030.

A continuación, enlistamos los HCFCs y su principal utilización en sistemas de refrigeración.

Tabla 3 Utilización de los HFCs

R-134a (Solkane)	Refrigerante que reemplazó al R-12 en los refrigeradores domésticos y los equipos de aire acondicionado en vehículos. Es un componente relevante en la mayoría de las mezclas de sustitución
R-125	Nunca se utiliza puro debido el bajo valor de su presión crítica (66°C). Está contenido en muchas mezclas dado su poder “extintor”.
R-32, R-152a R-143a	Inflamables y por lo tanto únicamente utilizados en mezcla con otros componentes que neutraliza su inflamabilidad.

3.1.1.4 Mezcla de refrigerantes

Los podemos clasificar en función del tipo de componentes fluorados que contienen. También, se diferencian por el hecho de que ciertas mezclas son

- **Zeotrópicas:** es decir que cuando pasan por un cambio de fase (condensación, evaporación), su temperatura varía.
- **Azeotrópicas:** se comportan como cuerpos puros, sin variación de temperatura durante el cambio de fase.

El R407C (compuesto por 52 % de R134a, 25 % de R125 y 23% de R32)

El R407C es un refrigerante no azeótropo (está compuesto por varios refrigerantes) para obtener su temperatura de cambio de fase.

Tiene las siguientes características :

- Es inflamable
- Durante los cambios de fases, la temperatura de “desvía” de aproximadamente 5 K (Kelvin) porque las temperaturas de evaporación y condensación de los refrigerantes que lo constituyen son diferentes. Esto conlleva a un mayor grado de dificultad en la regulación e implica instalar intercambiadores de calor a contra-corriente para sacarle mejor provecho.
- En caso de fuga, el componente que tiene las moléculas las más volátiles se escapa en prioridad y como resultado, se obtiene un refrigerante desequilibrado. A partir de ahí, es necesario vaciar completamente la instalación antes de recargarla, el refrigerante que se retira es reciclado.
- Las presiones son menores con este refrigerante
- Es menos eficiente que el R410A...

El R410A (compuesto por 50% de R32 y 50 % de R125)

El R410A tiene mejores propiedades termodinámicas que el R407C y el R22. Además, la estanquidad de las instalaciones es superior con el R410A, las pérdidas de presión son bajas y las velocidades de funcionamiento elevadas, así los componentes de la máquina de frío son más compactos.

Sin embargo, ¡este refrigerante es muy tóxico! Se comporta como un refrigerante mono molecular cuando cambia de fase, su temperatura se queda casi constante. Por lo tanto, no es necesario vaciar toda la instalación antes de recargarlo. Finalmente, las presiones de funcionamiento son 60% más elevadas que en el caso del R22, esto limita su utilización para temperaturas de condensación medianas de máximo 45°C.

El R404A (compuesto por 52% de R143a, 44% de R125 y 4 % de R134a)

El R404A tiene características comunes con el R410A, también es casi-azeotrópico pero su presión de funcionamiento es más baja. Su particularidad es que no eleva mucho su temperatura durante la compresión, la temperatura del gas a la salida del compresor es moderada lo que lo hace un refrigerante perfecto para las aplicaciones de bombas de calor fluido/fluido.

3.1.2 Los refrigerantes de bajo efecto invernadero

Estos refrigerantes son más amigables con el medio ambiente, sin efecto sobre la capa de ozono estratosférica y con menor impacto de efecto invernadero.

Sin embargo, tienen desventajas, al nivel de la seguridad o de sus propiedades termodinámicas.

3.1.2.1 Amoniac (NH₃) o R-717

El amoniac tiene las siguientes ventajas como refrigerante:

- Impacto ambiental nulo (índice ODP y GWP100 nulos – ver siguiente párrafo);
- Muy buen coeficiente de transferencia de calor;
- Rendimiento energético elevador (similar al R22, mejor en ciertas condiciones);
- El gas amoniac es más ligero que el aire;
- Bajas pérdidas de carga;
- Fugas fácilmente detectables;
- Bajo precio de venta y bajos costos de mantenimiento de las instalaciones;
- Difícilmente inflamable, límite de exposición elevado;
- Químicamente estable;
- Fácilmente absorbible en el agua;
- Poco sensible a la humedad presente en el circuito;
- Natural y por consecuente biodegradable;
- Gracias a su alta temperatura crítica, permite obtener temperaturas de condensación muy elevadas y así fabricar equipos de alta temperatura.

Los COP obtenidos con este refrigerante son similares a los obtenidos con los HFC.

Sin embargo, el amoniac es tóxico e irritable. Puede ser explosivo en casos excepcionales (los límites inferior y superior de inflamabilidad deben ser cercanos uno del otro). También, es altamente explosivo en espacios no ventilados donde se crea una mezcla de aire, nitrógeno y amoniac. Es imprescindible ventilar muy bien los espacios y dejar circular el aire libremente.

Además, el amoniac es altamente corrosivo (cobre y zinc), así que las instalaciones de refrigeración con amoniac deben ser realizadas con acero. No es soluble en el aceite mineral, así que se debe instalar un separador de aceite después del compresor.

Las instalaciones de amoniac lo utilizan en estado líquido y su cantidad es menor, las fugas de gas son también menores.

Actualmente, es el principal refrigerante utilizada en las instalaciones de refrigeración industrial.

3.1.2.2 Los hidrocarburos (HC) como R-290 R-600^a

Se trata del propano (R-290), del butano (R-600) y del isobutano (R-600a).

Estos refrigerantes tienen las propiedades termodinámicas adecuadas pero son peligrosos por su inflamabilidad. No se han utilizado mucho en el mundo de la refrigeración, aún si reaparecieron recientemente en los refrigerados y las espumas aislantes.

Su utilización parece poco probable en aire acondicionado, por el costo de asegurar las instalaciones mecánica y eléctricamente.

3.1.2.3 El dióxido de carbono (CO₂) o R-744

Fluido inorgánico, no tóxico, no inflamable pero menos eficiente al nivel termodinámico. Su uso implica elevadas presiones y compresores especiales.

Se usa normalmente en bombas de calor para aplicaciones de calefacción o agua caliente sanitaria. De bajo costo, es sencillo recuperar y reciclarlo.

Actualmente, atrae nuevamente el interés de especialistas debido a:

- Su bajo impacto ambiental (ODP = 0, GWP = 1);
- Su baja densidad conlleva a instalación de bajo volumen (fugas reducidas)
- Su temperatura crítica es baja 31°C, para una presión de 73.6 bar

Su principal desventaja es que trabaja con presiones muy elevadas de 80 hasta 100 bares.

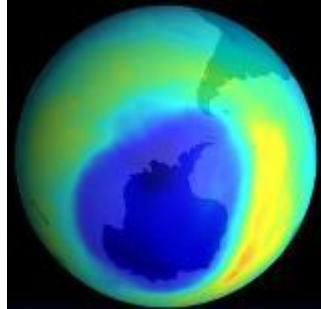
3.1.2.4 El agua (H₂O)

Fluido inorgánico no tóxico. Aún si la entalpia de vaporización del agua es importante, no se puede utilizar en la producción de frío por debajo de 0°C. Está poco adaptado al ciclo de compresión y sus aplicaciones son poco comunes.

3.2 Impacto ambiental

Desde algunos años, el impacto de los refrigerantes sobre el medio ambiente se volvió un reto mayor. Debido a las fugas en los circuitos frigoríficos, la responsabilidad de estos refrigerantes en la destrucción de la capa de ozono así como el incremento del efecto invernadero es más que demostrada.

Figura 18 Hoyo en la capa de ozono del polo sur



Fuente: Wikipedia

Las fugas de refrigerantes se deben evitar a toda costa; en la concepción, en la renovación y en el mantenimiento. Dependen de la calidad de:

- De la selección e instalación de los equipos y materiales (por ejemplo soldaduras y conexiones de las tuberías de distribución);
- De la optimización del ciclo frigorífico;
- Del mantenimiento;

En Francia, en 1997, el estudio demostró que la cantidad de fugas anuales podía llegar al 30% de la cantidad total en peso del refrigerante presente en los sistemas de refrigeración de los supermercados. (Ref.: *Zéro fuite – Limitation des émissions de fluides frigorigènes*, D. Clodic, Pyc Editions, 1997).

Para establecer el impacto de los refrigerantes sobre la capa de ozono y el efecto invernadero, tres índices fueron definidos:

- **ODP**: Ozone Depletion Potential;
- **GWP**: Global Warming Potential;
- **TEWI**: Total Equivalent Warming Impact.

3.2.1 ODP (Ozone Depletion Potential)

Es un índice que caracteriza la participación de la molécula en la reducción de la capa de ozono. Se calcula el valor de este índice en base a una molécula de referencia, el R11 o el R12 por tener un ODP = 1.

3.2.3 GWP (Global Warming Potential)

Es un índice que caracteriza la participación de la molécula en el efecto invernadero. Se calcula el valor de este índice en base a una molécula de referencia, el CO₂, y para duraciones bien determinadas (20, 50, 100 años). El CO₂ tiene un GWP = 1

3.2.4 TEWI (Total Equivalent Warming Impact)

El TEWI es un concepto que permite evaluar el calentamiento global (global warming) durante la vida operacional de un sistema de refrigeración por ejemplo, utilizando un refrigerante determinado. Se toma en consideración el efecto directo de las emisiones del refrigerante y el efecto indirecto de la energía eléctrica requerida para hacer funcionar el sistema.

Ecuación 10 Índice TEWI

$$TEWI = (GWP \times L \times n) + (GWP \times m[1 - C]) + n \times E \times \beta$$

Donde:

- GWP: Global Warming Potential;
- L: emisiones anuales de refrigerante en kg;
- n: vida útil del sistema en años;
- m: carga de refrigerante en kg;
- C: factor de recuperación / reciclaje comprendido entre 0 y 1;
- E: consumo anual de energía en kWh;
- β: emisión de CO₂ en kg / kWh.

En la tabla abajo, se indica, para varios refrigerantes, el *Ozone Depletion Potential* (potencial de destrucción de la capa de ozono) y el Global Warming Potential (potencial de participación al calentamiento global) sobre 100 años:

Tabla 4 Valores del ODP y GWP

Refrigerante		ODP	GWP ₁₀₀
R717	Amoniaco	0	0
R744	CO ₂	0	1
R290	Propano	0	20
R32	HFC, fluido puro	0	675

Refrigerante		ODP	GWP ₁₀₀
R134a	HFC, fluido puro	0	1 430
R407C	HFC, mezcla	0	1 800
R22	HCFC	0,05	1 810
R410A	HFC, mezcla	0	2 100
R427A	HFC, mezcla	0	2 100
R417A	HFC, mezcla	0	2 300
R422D	HFC, mezcla	0	2 700
R125	HFC, fluido puro	0	3 500
R404A	HFC, mezcla	0	3 900
R12	CFC	0,82	10 900

Fuente: 4º reporte del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).

3.3 Propiedades termodinámicas

Para la selección de un refrigerante se debe tomar en cuenta varias propiedades y características, desde el punto de vista termodinámico, como son:

- No tener presiones de condensación excesivas,
- Poseer un bajo punto de ebullición,
- Una alta temperatura crítica,
- Un alto calor latente de vaporización,
- Un bajo calor específico del líquido,
- Un bajo volumen específico del vapor,
- Un volumen y potencia bajos por cada tonelada de refrigeración,
- Tener un COP alto, y no causar corrosión en los metales usados

Todas estas condiciones garantizan el no tener condiciones extremas en el proceso y lograr una alta eficiencia en el ciclo.

Como se indicó anteriormente, las propiedades químicas que benefician la elección del refrigerante, al garantizar la seguridad para los operadores del sistema y para el producto son el no ser inflamable ni explosivo, tener baja toxicidad y efectos sobre el ambiente, reaccionar poco con los materiales de construcción y no producir daños a los productos refrigerados en caso de fugas.

3.3.1 Presión y temperatura de evaporación y condensación

La temperatura de condensación depende de las condiciones ambientales o del medio que recibe el calor. Debe ser superior a la temperatura del ambiente en cinco grados o más.

La temperatura de evaporación depende del proceso y debe estar cinco grados o más por debajo del requerimiento de temperatura.

A manera de ejemplo, si la sustancia a refrigerar se requiere a 4°C, la temperatura de evaporación del refrigerante a las condiciones del evaporador debe estar por debajo de -1°C. Para el caso de un condensador evaporativo que intercambia calor con el medio ambiente que se mantiene a 25°C, la temperatura de condensación debe ser superior a los 30°C.

A continuación, se indica las temperaturas de evaporación de algunos refrigerantes:

Tabla 5 Ejemplos temperatura de evaporación a presión atmosférica

Refrigerante	Temperatura de evaporación (°C)
Amoniaco	-33.3
Anhídrido carbónico	-78.4
R-11	-23.7
R-12	-29.8
R-22	-40.8
R-113	47.6
Agua	100

3.3.3 Temperatura de congelación

Para evitar taponamientos en el sistema de refrigeración, la temperatura de congelación normal del refrigerante debe estar por debajo de todas las temperaturas de dicho sistema.

Tabla 6 Ejemplos de temperatura de congelación

Refrigerante	Temperatura de congelación (°C)
Amoniaco	-77.7
Anhídrido carbónico	-56.6
R-11	-111
R-12	-158
R-22	-100
R-113	-35
Agua	0

3.4 Criterios de seguridad

Los fluidos refrigerantes pueden clasificarse en tres grupos dependiendo del grado de seguridad o peligrosidad de los mismos de la siguiente manera:

3.4.1 Alta seguridad

Corresponden a este grupo, los refrigerantes que no son combustibles, cuyos efectos sobre la salud son despreciables:

Tabla 7 Refrigerantes de alta seguridad

Número de identificación	Nombre químico
R-11	Triclorofluorometano
R-12	Diclorodifluorometano

R-13	Clorotrifluorometano
R-13B1	Bromotrifluorometano
R-14	Tetrafluoruro de carbono
R-21	Diclorofluorometano
R-22	Clorodifluorometano
R-113	1,1,2-Triclorofluoretano
R-114	1,2Diclorotetrafluoretano
R-115	cloropentafluoretano
R-C318	octofluorciclobutano
R-500	R-12 (73.8%) + R-152 (26.2%)
R-502	R-22 (48.8 %) + R-115 (51.2%)
R-744	Anhídrido carbónico

3.4.2 Mediana seguridad

Corresponden a este grupo los refrigerantes que son tóxicos o corrosivos o que al combinarse con el aire, en una porción del 3,5% o más en volumen, pueden formar una mezcla combustible o explosiva.

Tabla 8 Refrigerantes de mediana seguridad

Número de identificación	Nombre químico
R-30	Cloruro de Metileno
R-40	Clorometano
R-160	Cloruro de Etileno
R-60	Cloruro de Etilo
R-611	Formiato de Metilo
R-717	Amoniaco
R-764	Ahídrido Sulfuroso
R-1130	1,2-Dicloetileno

3.4.3 Baja seguridad

Corresponden a este grupo, los refrigerantes que son combustibles.

Tabla 9 Refrigerantes de baja seguridad

Número de identificación	Nombre químico
R-170	Etano
R-290	Propano
R-600	Butano
R-600a	Isobutano
R-1150	Etileno

4 COMPONENTES DEL SISTEMA

Como se indicó en la sección 2.3 Ciclo Frigorífico, las máquinas de frío están compuestas por cuatro elementos principales:

- El compresor
- El condensador
- La válvula de expansión
- El evaporador

En esta sección, se detallará cada componente.

4.1 El compresor

Es el corazón del sistema de refrigeración dado que bombea el refrigerante hacia los otros elementos del sistema.

Es el componente más costoso y el que consume más del 80% de la energía eléctrica del sistema de refrigeración (este elemento es generalmente impulsado por un motor eléctrico).

Se clasifica según las temperaturas del refrigerante a comprimir:

- Baja Temperatura: de -10°C a -30°C
- Media Temperatura: 0°C a -10°C
- Alta Temperatura: 7°C a -5°C

Los tres tipos de compresores más comunes usados en refrigeración son:

- Compresor a pistón (alternativo),
- Compresor scroll,
- Compresor de tornillo,
- Compresor centrífugo,

Figura 19 Compresor a pistón

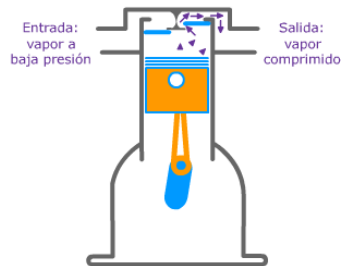


Figura 20 Compresor scroll

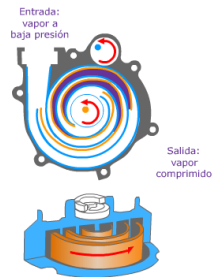
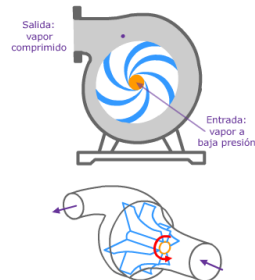


Figura 21 Compresor de tornillo



Figura 22 Compresor centrífugo

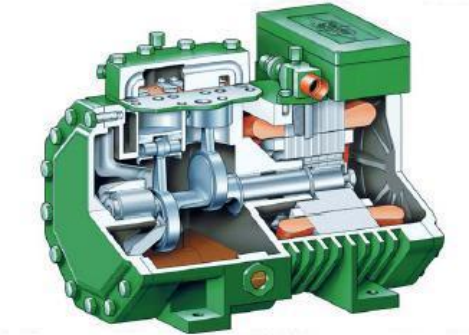


4.1.1 Compresor a pistón

Es conocido también como compresor alternativo o compresor recíprocante o de desplazamiento positivo. Funciona por el desplazamiento de un pistón dentro de un cilindro movido por un cigüeñal.

El gas a comprimir entra, a presión ambiental, por la válvula de admisión en el cilindro. Este gas es aspirado por el movimiento descendente del pistón que tiene un movimiento alternativo mediante un cigüeñal y una biela. Se comprime cuando el pistón asciende y se descarga, comprimido, por la válvula de descarga.

Figura 23 Corte de un compresor a pistón



Fuente: <http://www.energieplus-lesite.be>

El compresor a pistón clasifica según su construcción en tres tipos: sellado, semisellado y abiertos.

4.1.1.1 Compresor de construcción hermético

Conocidos también como compresores sellados, están contruidos dentro de una carcasa de metal. Trabajan con velocidades de 1,750 a 3,500 rpm con motores de 2 y 4 polos. Estos motores se fabrican desde 1/20 HP a 7 ½ HP, es decir que son equipos que se encuentran en las PyMEs.

Son equipos silenciosos y baratos. Sin embargo, no se pueden reparar por estar sellados.

Figura 24 Compresores a pistón herméticos



4.1.1.2 Compresor de construcción semihermético

Están encerrados dentro de una carcasa con tapa de acceso para realizar inspecciones. Tienen un gran uso en la refrigeración comercial y se fabrican a partir de 2HP en adelante, los podemos encontrar en algunas PyMEs.

Al contrario de los equipos herméticos, se pueden reparar pero su costo es más elevado.

Figura 25 Compresor semihermético



4.1.1.3 Compresor de construcción abierto

Los compresores abiertos se diferencian de los semiherméticos porque tienen un eje (cigüeñal) que sale al exterior. Se le puede acoplar un motor eléctrico, a diésel o a gas.

A diferencia de los otros dos modelos, se puede acceder a todos los elementos. La potencia está regulada por el arranque o paro de ciertos cilindros o por el cambio de régimen del motor acoplado.

Se fabrican desde 1 HP a 300 HP; los encontramos en las plantas industriales (algunas PyMEs), los barcos o los autobuses.

4.1.1.4 Frío positivo y frío negativo

En las aplicaciones de frío positivo, la relación de compresión es inferior a 8, los compresores se conocen entonces como de “simple etapa”.

Figura 26 Compresor simple etapa



Fuente: Bitzer

En frío negativo, la relación de compresión son superiores a 8, los compresores son dicen “de doble etapa”.

Figura 27 Compresor de doble etapa

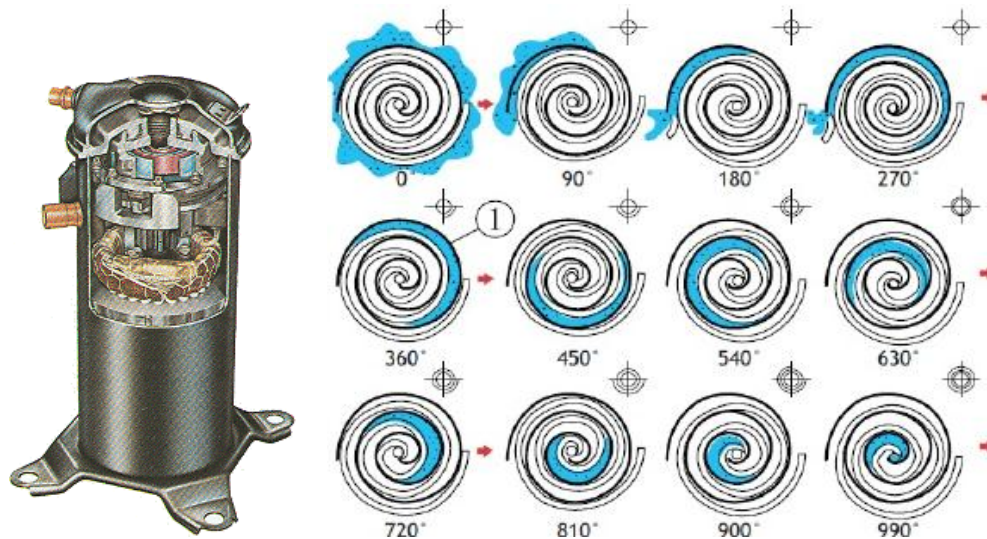


Fuente: Bitzer

4.1.2 Compresor scroll

El compresor scroll se compone de dos espirales: la primera es fija, pegada a la carcasa, y la segunda giratoria. Las espirales están desfasadas de 180°. La espiral móvil esta manejada por el motor y gira dentro de la espiral fija, formando una bolsa de gas. Este movimiento orbital produce una reducción progresiva de la bolsa de gas hasta su desaparición total, así se lleva a cabo el ciclo de compresión del refrigerante.

Figura 28 Compresor Scroll



Al tener mucho menos partes móviles que en los compresores a pistón (60% menos), existe menos fricción, por lo que este compresor es más eficiente, bajo en ruido, con poca vibración.

Esto se traduce por un COP del orden de 4 en promedio anual, mientras que los compresores a pistón tienen un COP de 2.5 aproximadamente.

Su potencia máxima es de 50 kW pero se puede instalar varios equipos en paralelo hasta 300 kW.

Para regular su velocidad, existen tres opciones:

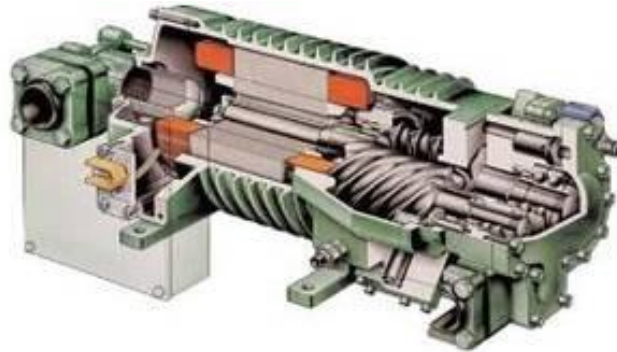
- Regulación “todo o nada”
- Regulación por un motor de dos velocidades
- Regulación por un variador de frecuencia

4.1.3 Compresor tornillo

Son equipos con un rango de funcionamiento variable: de 10% a 100%, con un rendimiento bastante constante. Existen máquinas abiertas o cerradas.

Su modo de funcionamiento consiste en comprimir el refrigerante por medio de un tornillo helicoidal que gira a alta velocidad, este compresor es alimentado por un motor eléctrico.

Figura 29 Compresor tornillo



Fuente: Bitzer

El rendimiento volumétrico de un compresor tornillo es alto por la ausencia de espacios muertos, como en los compresores a pistón. Esta propiedad permite asegurar una relación de compresión elevada. Debe estar bien lubricado para asegurar la estanqueidad entre las diferentes piezas en movimiento, reducir el ruido y también para enfriar el refrigerante. La relación de compresión alcanza entonces valores de 20 sin alterar el refrigerante.

En los equipos de gran capacidad, un mecanismo de regulación define la utilización de una parte más o menos larga del tornillo en la compresión de los gases, esto permite hacer variar la relación de compresión.

En los equipos más pequeños (que siguen siendo muy grandes en comparación de los compresores a pistón), la variación de la potencia del compresor se obtiene al cambiar la velocidad de rotación del tornillo o bien al utilizar unos puertos de admisión auxiliares.

Figura 30 Compresor tornillo 2



Las ventajas del compresor tornillo son su bajo desgaste y su regulación sencilla. Sin embargo, es todavía caro. Desde hace poco, se utiliza el compresor tornillo para potencia de 20 kW en adelante.

4.1.4 Compresor centrífugo

Son equipos capaces de desplazar grandes cantidades de aire. El compresor centrífugo es un dispositivo de tipo dinámico, no de desplazamiento positivo como la mayoría de los equipos utilizados en máquinas de refrigeración. Está constituido por una o más ruedas impulsoras, montadas sobre un eje y contenidas dentro de una carcasa. El aumento de presión se consigue por conversión desde energía cinética.

Su principio de operación es similar a los ventiladores o al de las bombas centrífugas

Figura 31 Compresor centrífugo



Fuente. Atlas Copco

No tienen relaciones de compresión muy elevadas. Su campo de aplicación son las grandes instalaciones de aire acondicionado.

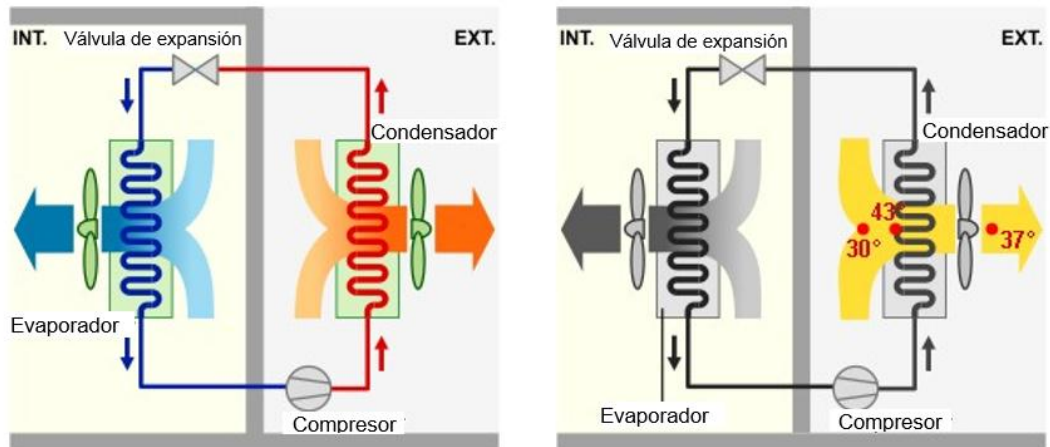
En general, se usa el compresor de pistón (o recíprocante) hasta las decenas de kW. Hasta los centenares de kW se usa el compresor de tornillo, también de desplazamiento positivo (o volumétrico), pero a partir de los centenares de kW, se utiliza el compresor centrífugo, y en tamaños de MW se usa el compresor axial.

Cuando no se tolera aceite en el gas refrigerante es necesario recurrir al compresor centrífugo, incluso en tamaños que son dominio del compresor de tornillo (aunque existan modelos de tornillo libres de aceite). En los sistemas de producción de frío por compresión del gas refrigerante, al igual que en compresor de aire, se emplean compresores de pistón y de tornillo en los tamaños menores. En grandes tamaños se recurre a los compresores centrífugos que principalmente se usan a partir de 400 kW de potencia al eje.

4.3 El condensador

El condensador es el intercambiador de calor donde el refrigerante, en forma de vapor, proveniente del compresor o del generador, se enfría y se condensa por medio de una transferencia de calor hacia el aire o agua, de esta forma el calor del proceso de refrigeración es retirado del sistema.

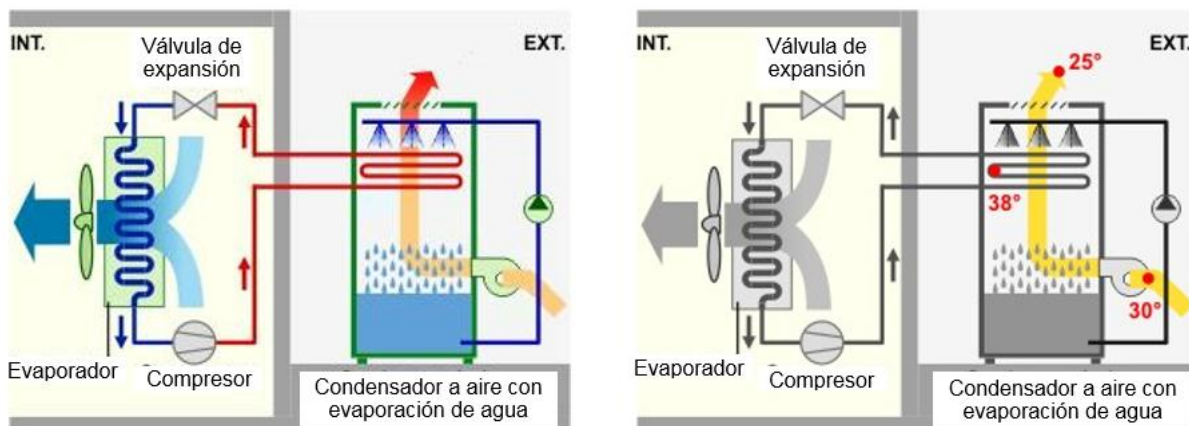
Figura 32 Enfriamiento por aire



Fuente: www.energieplus.be

Lo más sencillo es utilizar el aire exterior para condensar el refrigerante pero a veces la potencia de enfriamiento no es suficiente. Para incrementarla, se utiliza agua en lugar de aire. En efecto, cuando el agua se evapora, el calor de vaporización es absorbido por la gota de agua, que se enfría, así al agregar a la potencia de evaporación del agua se incrementa la potencia del condensador.

Figura 33 Enfriamiento por agua



Fuente: www.energieplus.be

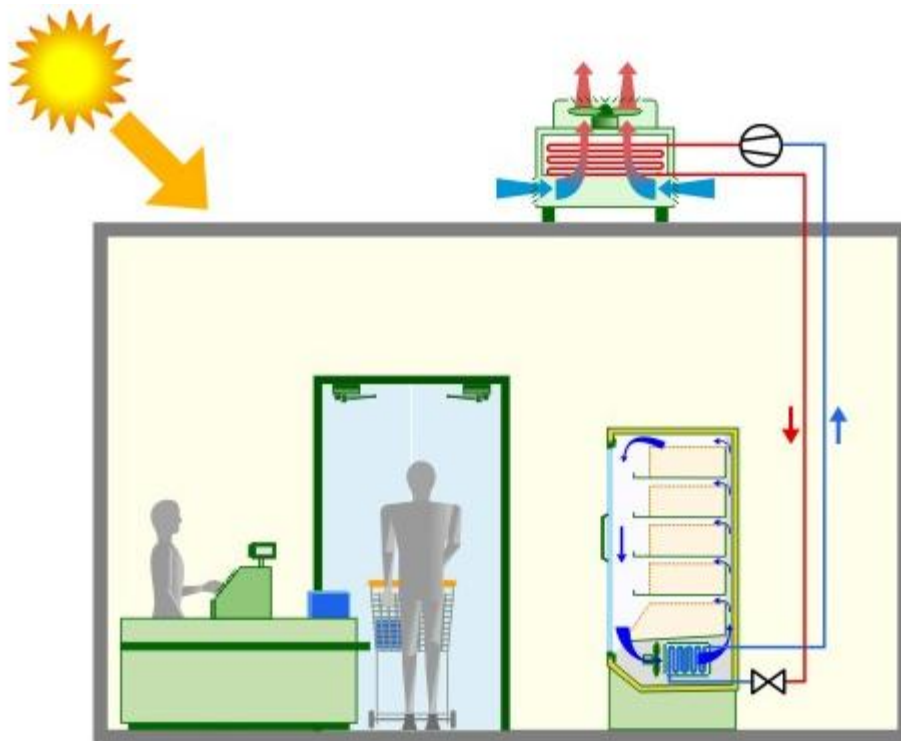
Existen dos tipos de condensadores:

- Aero-refrigerador
- Condensadores evaporativos

4.3.1 Aero-refrigerador

En ese caso, el gas refrigerante es enfriado por el aire exterior:

Figura 34 Esquema aero-refrigerador



Se compone de un serpentín con aletas metálicas y uno o más ventiladores que impulsan aire ambiente para enfriar el vapor refrigerante caliente y condensarlo a una temperatura igual o ligeramente mayor que la temperatura ambiente. El consumo eléctrico del motor del ventilador del condensador no es muy grande, pero cuando éste se obstruye con polvo o suciedad, absorbe menos calor del refrigerante, lo que provoca que la presión de trabajo del compresor sea mayor y demande más potencia y energía.

A veces, existe una distancia larga entre la ubicación de la máquina de refrigeración y el condensador ubicado en el techo del edificio, así que se utiliza un circuito de agua adicional. El agua enfría el gas refrigerante y el aire exterior enfría el agua.

Foto 4 Aero-refrigerador 1



Fuente: www.frigopak.com

Foto 5 Aero-refrigerador 2



Fuente: www.serviaire.com

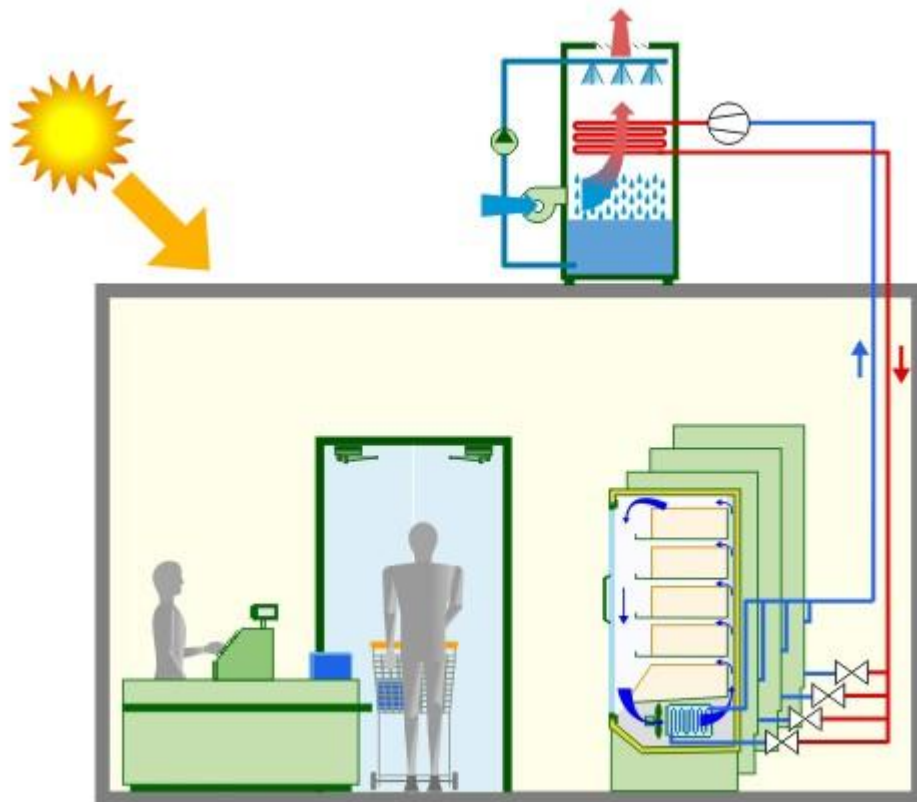
4.3.2 Condensador evaporativo

La aspersión de agua al nivel del condensador permite incrementar la potencia del equipo cuando ésta se evapora.

En efecto, un litro de agua evaporada libera 2,500 kJ de calor. Si no podríamos aprovechar el calor de vaporización del agua, tendríamos que hacer pasar por el condensador 60 litros (en lugar de 1 litro) que se calentaría de 10°C para tener la misma energía (considerando un C_p de 4.18 kJ/kg.K).

Los condensadores evaporativos son equipos muy similares a las torres de enfriamiento pero la principal diferencia reside en que están destinados a la condensación de gases refrigerantes en general (butano, propano, butileno, pentano, CO₂, vapor de agua, etc.).

Figura 35 Esquema Condensador evaporativo



El condensador evaporativo consiste en un dispositivo de aspersión al nivel de la batería de condensación, que trabaja a “temperatura de bulbo húmedo”. Así se puede aprovechar el calor de vaporización y reducir la temperatura de condensación de unos 4 o 5°C. El agua se rocía en los tubos del condensador y enfría el refrigerante gracias a:

- Un intercambio de calor sensible. El aire y el agua se mezclan.
- Un intercambio de calor latente. El agua se evapora en el aire al contacto de la batería de condensación.

Si el intercambio fuera perfecto, la temperatura del refrigerante llegaría a la temperatura húmeda del aire, sin embargo, en la práctica, estará 3 a 8°C por encima de este valor.

Foto 6 Condensador Evaporativo 1



Fuente: <http://www.evapco.com>

Foto 7 Condensador Evaporativo 2



Fuente: <http://www.evapco.com>

Los condensadores evaporativos consumen menos energía eléctrica pero la inversión inicial es más cara y requieren adicionalmente de un tratamiento químico para prevenir oxidación o lodos.

4.4 La válvula de expansión

4.4.1 Funcionamiento

Este dispositivo se encarga de limitar el paso del refrigerante a la entrada del evaporador. La diferencia de presión entre el condensador y el evaporador requiere de un dispositivo que disminuya la presión en el circuito. El refrigerante se vaporiza parcialmente para disminuir su temperatura, al pasar por la válvula de expansión.

Al no regular adecuadamente la cantidad de refrigerante a la entrada del evaporador, tenemos los siguientes problemas:

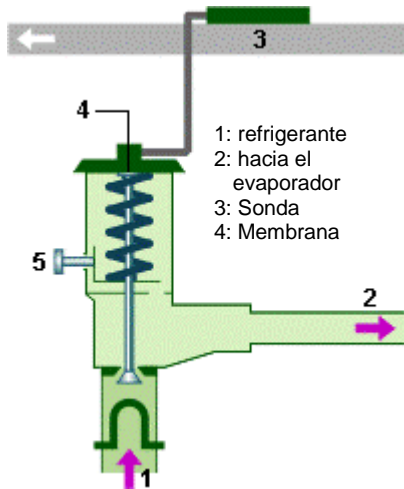
- Si tenemos muy poco refrigerante, se evapora inmediatamente y se sigue calentando (efecto de sobre-calentamiento). El rendimiento del evaporador disminuye.
- Si tenemos demasiado refrigerante, el exceso no se evapora debido a que no existe suficiente calor disponible. Una parte del refrigerante queda líquido y es aspirado por el compresor, pudiendo dañarlo (golpe de líquido).

4.4.2 Tecnologías de válvulas de expansión

4.4.2.1 Válvula de expansión termostática

Es el dispositivo más utilizado de válvula de expansión. Regula el caudal del refrigerante al mantener una diferencia constante entre la temperatura de evaporación del refrigerante y la temperatura del gas refrigerante a la salida del evaporador. Esta diferencia de temperatura, generalmente de 6 a 8K, se llama “sobrecalentamiento al evaporador”. De esta manera, aseguramos que todo el líquido refrigerante se haya evaporado.

Figura 36 Esquema Válvula de Expansión termostática



Fuente: www.energieplus.be

Figura 37 Foto Válvula de Expansión Termostática



Fuente: www.frigopak.com

Si la carga térmica se incrementa, la sonda de temperatura (3) detectará un incremento de temperatura y actuará sobre la membrana (4). De esta manera, la válvula de expansión se abre, dejando pasar más refrigerante (1).

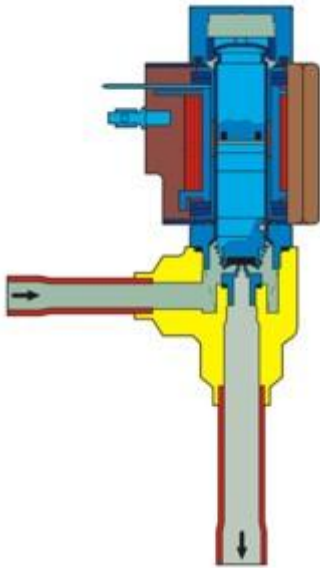
El reglaje se efectúa por medio del tornillo que actúa sobre el resorte del equilibrado de presión. La curva de reglaje es una línea recta proporcional a la diferencia de las temperaturas medidas por el bulbo a la salida del evaporador y la temperatura de evaporación.

La mayoría de las instalaciones de refrigeración que se encuentran en la PyMEs utilizan esta tecnología.

4.4.2.2 Válvula de expansión electrónica

El principio de funcionamiento es idéntico al tipo termostático pero permite un reglaje más preciso del evaporador, por lo tanto el sobrecalentamiento será menor. La temperatura del evaporador será entonces un poco más elevada de 2 a 3°K y el consumo del compresor disminuirá.

Figura 38 Esquema Válvula de Expansión Electrónica



Fuente: <http://www.energieplus-lesite.be/>

Figura 39 Foto Válvula de Expansión Electrónica



Fuente: www.frigopak.com

Esta tecnología tiene como ventaja la utilización de la “inteligencia” numérica que le permite adaptar su punto de funcionamiento en función de diversos parámetros.

Contiene una válvula, de aguja controlada por un motor paso a paso a 2500 posiciones (ver Tutorial Sistemas Electromotrices).

4.4.2.3 Válvula de expansión capilar

En las pequeñas instalaciones de refrigeración, se encuentra un estrechamiento de la tubería de refrigerante antes del evaporador. Se instala un tubo capilar de pequeño diámetro en el cual la pérdida de carga provoca la expansión del refrigerante.

4.4.2.4 Válvula de expansión presostática

Este dispositivo mantiene la presión de evaporación constante, independientemente de la carga la cual trabaja. Es decir que se utiliza la totalidad de la superficie del evaporador una vez alcanzado el régimen estable de funcionamiento. Por eso, solamente se emplea esta tecnología en las instalaciones cuya carga varía muy poco.

4.5 El evaporador

Es un intercambiador de calor similar al condensador pero de menor tamaño. La mezcla de refrigerante en estado gaseoso y líquido, que sale del dispositivo de expansión, pasa por todo el intercambiador y absorbe el calor del fluido (aire o agua) a enfriar.

Generalmente, se construyen a partir de materiales con una buena conductividad térmica: en aluminio, acero (para evaporadores de gran tamaño y con amoníaco como refrigerante), cobre (para enfriamiento de líquidos en evaporadores más pequeños) o latón.

Existen evaporadores de placa o evaporadores de tubos lisos o con aletas (internas o externas) para incrementar el intercambio de calor.

En los evaporadores de placa (muy utilizados en los refrigeradores de uso doméstico) y los evaporadores tubulares, el intercambio de calor se hace por convección natural del aire, es decir que se produce por el contacto entre el aire que circula y la superficie del evaporador.

En los evaporadores equipados con tubos con aletas, el intercambio de calor se hace por convección forzada, es decir que están equipados con ventiladores.

Muchos de los evaporadores cuentan con un separador de líquido, que recolecta el refrigerante líquido no evaporado, evitando que llegue al compresor.

Foto 8 Evaporador 1



Fuente: <http://www.bohn.com.mx/>

Foto 9 Evaporador 2



Fuente: <http://www.bohn.com.mx/>

Foto 10 Evaporador 3



Fuente: <http://www.bohn.com.mx/>

Foto 11 Evaporador 4



Fuente: <http://www.bohn.com.mx/>

4.6 La tubería del circuito

La tubería de refrigeración no es un equipo en sí mismo, ya que su función es interconectar a los otros componentes. Sin embargo, un mal diseño o instalación de las tuberías hará al equipo no sólo menos eficiente, sino que también dañará, en el corto o mediano plazo, la operación del compresor y el enfriamiento alcanzado.

La tubería es generalmente de cobre y se clasifica en tres tipos:

- De succión, la cual conecta el evaporador con el compresor. Por lo general puede incluir una trampa en forma de “S” acostada. Como el refrigerante sobrecalentado que sale del evaporador tendrá una baja temperatura, esta tubería debe estar forrada con un material aislante; es la más gruesa de ellas.
- De descarga, la cual conecta el compresor con el condensador. Por lo general es muy corta y alcanza más de 40° C.
- Línea de líquido, la que conecta el condensador con el dispositivo de expansión y transporta el líquido subenfriado. No se forra para que pierda calor en el recorrido y de preferencia no debe exponerse al sol directo. Es la más delgada de las tuberías.

5 APLICACIONES

Después de haber explicado en la sección anterior los elementos de las máquinas de frío, se desarrollará en esta sección las principales aplicaciones de sistemas de refrigeración como son las cámaras de refrigeración, los muebles frigoríficos y los sistemas industriales.

5.1 Frío positivo y frío negativo

Se clasifican las instalaciones en dos categorías, según las temperaturas de evaporación manejadas:

- de 0-4 hasta 8°C: Frío positivo
- <-18°C: Frío negativo

Cuando se baja la temperatura de un alimento por debajo de 0°C, el agua se congela. Alrededor de una temperatura de 0°C, 30% a 40% del agua “congelable” se transformó en hielo, mientras que para temperaturas mucho más baja (-18°C, -20°C), más del 95% de esta agua está congelada. La congelación del agua conlleva a la “estabilización” del alimento. Este método se llama “frío alimenticio negativo”.

Para garantizar la conservación de las propiedades y estructura física de la sustancia, lo ideal es efectuar una congelación rápida y mantener la cadena de frío a la temperatura de congelación requerida (-20°C) el mayor tiempo posible.

La congelación de los alimentos es una técnica muy eficaz para prolongar la vida útil de su comercialización. Esta duración depende de:

- La temperatura
- El alimento
- El tipo de embalaje

(Ver Anexo 1)

5.2 Usuarios de sistemas de refrigeración

Se distinguen dos grandes tipos de usuarios de los sistemas de refrigeración:

- Los usuarios comerciales que requieren de los sistemas de refrigeración para almacenamiento, distribución, exhibición y venta de alimentos, fármacos y otros

productos perecederos que requieren de bajas temperaturas para su conservación. El objetivo es asegurar la cadena de frío.

- Los usuarios industriales que requieren de los sistemas de refrigeración para la fabricación o elaboración de sus productos (también para asegurar la cadena de frío) o bien para el enfriamiento de su maquinaria, equipos, etc.

Entre los sectores más importantes que pueden mencionarse como usuarios de sistemas de refrigeración están los siguientes:

Cárnicos: El control de calidad e higiene en la industria cárnica exige la instalación de grandes sistemas de refrigeración. Estos productos son sensibles a las condiciones ambientales y bajo circunstancias desfavorables sería inevitable la pérdida del producto por descomposición.

Embotelladoras: Un problema en el sistema de refrigeración representaría un paro en la producción de una embotelladora, debido a que las bebidas requieren de un proceso de pasteurización (calor + frío) y aquellas que contienen CO₂ deben ser enfriadas aún más para disolver este gas en la bebida.

Cerveceras: La refrigeración es de vital importancia para el proceso de producción de la cerveza: elaboración de la malta, fermentación y maduración. Durante el proceso, la cerveza requiere de prolongados periodos de almacenamiento en grandes tanques que necesitan importantes cantidades de frío.

Industria Química: El control de procesos en una industria química requiere de grandes instalaciones frigoríficas. Por ejemplo, la generación de calor que se da en las reacciones químicas es controlada principalmente con sistemas de generación de frío.

Plásticos: En la industria del plástico se requiere de agua de enfriamiento para refrigerar la maquinaria y los moldes de inyección; si no se dispone de ella, se debe interrumpir la producción.

Transporte: La cadena de frío exige controlar las condiciones del producto a lo largo de su transporte hacia el destinatario final. En el transporte aéreo, terrestre y marítimo se deben tomar las precauciones del caso para llevar el producto desde la fuente hasta el destino con las mínimas variaciones posibles.

La selección del sistema de refrigeración industrial se basa principalmente en el rango de temperaturas de operación.

5.3 Cámaras y cuartos frigoríficos

Las cámaras de refrigeración, los cuartos de refrigeración, las cámaras frigoríficas, las cámaras refrigeradas aseguran la conservación de los productos alimenticios o de las materias primas necesarias a la preparación de estos productos.

Existen cámaras de refrigeración de temperatura positiva (refrigeradoras) y de temperatura negativa (congeladoras).

Las cámaras frigoríficas se distinguen de los cuartos fríos. En un cuarto frío, las personas pueden circular, es más voluminoso que una cámara frigorífica.

Figura 40 Cámara de refrigeración



Fuente: <http://www.porticodemexico.com>

Figura 41 Cuarto frío



Fuente: <http://www.porticodemexico.com>

Todas las cámaras o cuartos de refrigeración contienen:

- Paredes hechas con un material aislante: espuma de poliuretano en sándwich entre dos hojas metálicas en aluminio, acero inoxidable, en chapa ondulada, etc.
- Una máquina frigorífica enfriada por aire o por agua
- Estanterías fijas o carretilla

Existen tres tipos de cámaras de refrigeración:

- La cámara frigorífica compacta
- La cámara frigorífica modulable, desmontable
- La cámara frigorífica construida

5.3.1 La cámara frigorífica compacta

Se trata de un equipo compacto, capaz de ofrecer un máximo de espacio útil para guardar productos. Es más pequeña que la cámara frigorífica modulable.

Figura 42 Cámara frigorífica compacta



Fuente: <http://lamoderna.cuatrocomunicacion.com.mx>

Generalmente, no se puede desmontar. Se utiliza para el almacenamiento de las materias primas envasadas o para la conservación de los productos preparados.

Dispone de un equipo frigorífico incorporado, llamado “monobloc”. El evaporador está instalado en la pared interior de la cámara, mientras que el compresor y el condensador están instalados en la pared exterior.

El volumen disponible es relativamente pequeño de 2 a 7 m³ (menos de 10 m³), como se tiene que considerar un espacio para la circulación, se reduce el volumen de 40% a 50%.

5.3.2 La cámara frigorífica modulable y desmontable

Debido a la velocidad con la cual evoluciona la industria alimenticia en particular los gustos de los clientes, la composición de los platos, las reglas de almacenamiento, por lo general, no se desea una solución de refrigeración poco flexible o definitiva. Por lo anterior, los fabricantes diseñaron una cámara de refrigeración modulable y fácil de instalar.

Figura 43 Cámara de refrigeración modulable



Fuente: <http://www.solostocks.com/>

Se componen de paneles prefabricados para los lados, el plafón, el piso, las puertas, los compartimentos... generalmente, es más grande que una cámara compacta.

Los equipos de producción de frío se adaptan a estos módulos, no son monobloc. El evaporador está suspendido del plafón y equipado de un ventilador para una mayor difusión del aire. El compresor, condensador y válvula de expansión no están instalados en la cámara, generalmente, se encuentran en un cuarto de máquinas.

Los volúmenes de almacenamiento son más grandes que en el caso de las cámaras compactas, hasta 60 m³ en uno o varios módulos. Se debe considerar adicionalmente las circulaciones de aire para facilitar los intercambios de calor con los productos a refrigerar así como la circulación del personal.

Su principal ventaja reside en la velocidad en la cual se arma: 1 día para una cámara de 20m³, mientras que se requiere aproximadamente 2 semanas de trabajo de construcción para las cámaras construidas.

5.3.3 La cámara frigorífica construida

Se encuentra por lo general en los edificios antiguos como las carnicerías. Su volumen útil depende de la configuración del local, por lo que no es siempre funcional y tiende cada vez más a desaparecer.

5.4 Muebles frigoríficos

Los muebles frigoríficos sirven para presentar los alimentos o productos a los consumidores, asegurando la conservación de los mismos. Es el último eslabón de la cadena de frío y se dimensiona por lo tanto solamente para mantener la temperatura de los alimentos o productos y no para enfriarlos. La refrigeración o congelación del producto se efectúa al momento de la producción o fabricación, en las siguientes etapas de la cadena de frío, las maquinas frigoríficas solamente se dimensionan para mantener la temperatura.

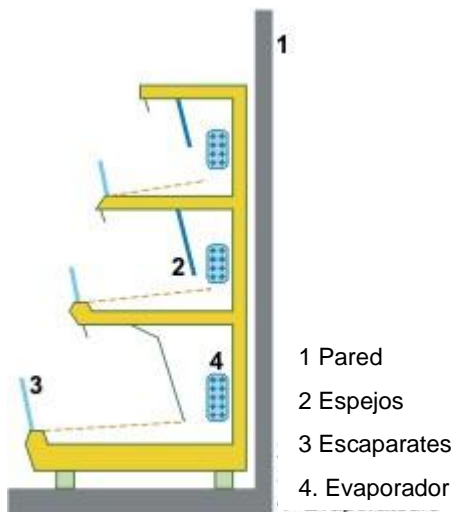
La función de poder mostrar la mercancía al consumidor final y la función de mantener la temperatura mínima de conservación del producto están en contradicción. En efecto, el mueble frigorífico generalmente permite que el consumidor acceda a la mercancía fácilmente, al tener grandes aperturas y mucha iluminación. Sin embargo, tener que mantener una temperatura mínima lleva a reducir al máximo los intercambios térmicos del mueble con el ambiente, es decir a reducir las aperturas y la iluminación.

La modelización de la distribución de la energía frigorífica dentro del mueble es muy complicada dado las formas tan complejas que pueden llegar a tener. La transferencia de calor se realiza generalmente de tres maneras:

- Por conducción
- Por convección
- Por radiación

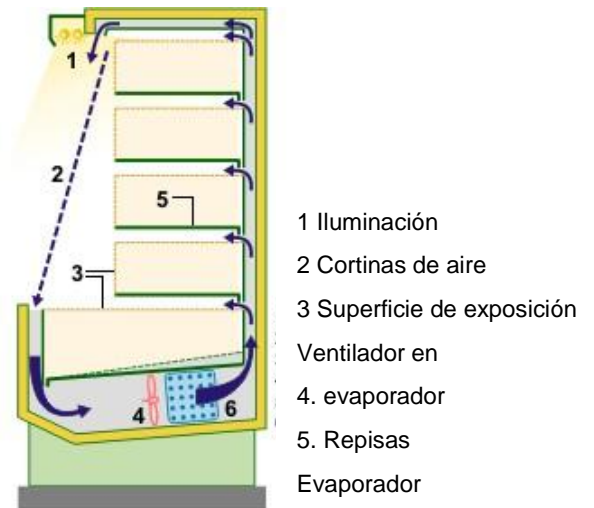
En los muebles que trabajan por convección, el aire es el medio de transporte para retirar calor de las mercancías. Existen dos técnicas: la convección natural o la convección forzada.

Figura 44 Mueble frigorífico con convección natural



Fuente: www.energieplus.be

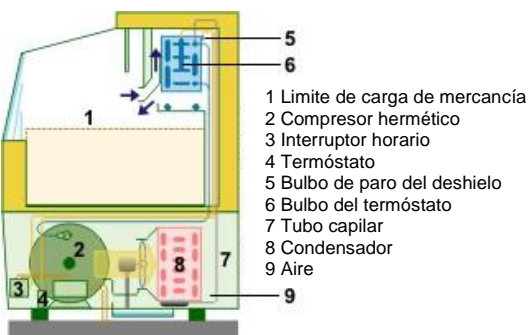
Figura 45 Mueble frigorífico con convección forzada



Fuente: www.energieplus.be

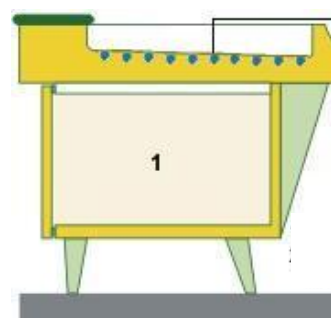
En el caso de los muebles que trabajan con frío conductivo, las paredes y accesorios mantienen la temperatura, por contacto directo con el producto. Las paredes suelen ser evaporadores y ser constituidas por serpentines. Existe dos variantes: por contacto directo y contacto indirecto.

Figura 46 Vitrina frigorífica



Fuente: www.energieplus.be

Figura 47 Mueble frigorífico con contacto directo



Fuente: www.energieplus.be

Los evaporadores de los muebles frigoríficos son diferentes de los evaporadores tradicionales. Se busca generalmente optimizar el tamaño de los muebles, por lo que el espacio destinado al evaporador es reducido. La concepción y el dimensionamiento de los evaporadores también se adaptan según su modo de funcionamiento: convección natural, convección forzada o conducción.

Es importante analizar las vías de optimización energética de estos equipos, dado que, en las tiendas comerciales, el consumo de los muebles frigoríficos representa del 30 a 50% del total del consumo eléctrico.

5.5 Aplicaciones industriales

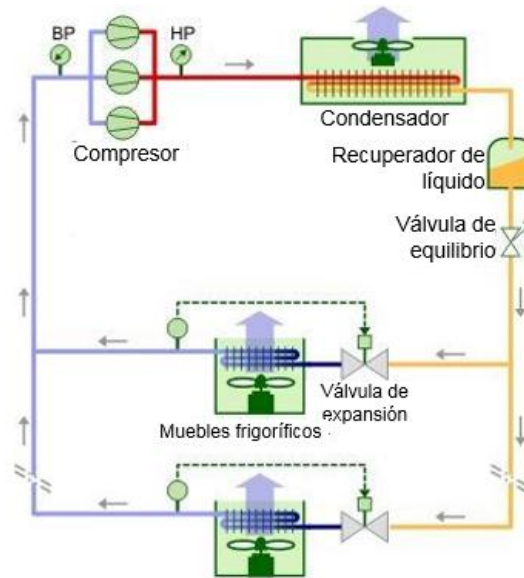
En las industrias, se utilizan generalmente los sistemas de refrigeración para la fabricación de productos alimenticios o bien para el enfriamiento de las maquinarias o materiales utilizados en el proceso industrial: moldes de inyección, plástico, etc.

La mayoría de los sistemas de refrigeración instalados en industrias funcionan con máquinas de compresión. En el apartado 2.3.1 Ciclo de compresión, se explicó el funcionamiento de estos sistemas. Existen dos configuraciones según la cantidad de evaporadores, las temperaturas manejadas, la distancia entre el compresor y los evaporadores, etc.:

- Expansión directa (también conocido como expansión seca)
- Expansión indirecta (con circuito secundario de líquido)

En la expansión directa, es el refrigerante directamente que realiza la transferencia de calor útil con las aplicaciones de frío, por ejemplo en una cámara de refrigeración, como lo ilustra el esquema a continuación. Es la solución más común en sistemas de refrigeración.

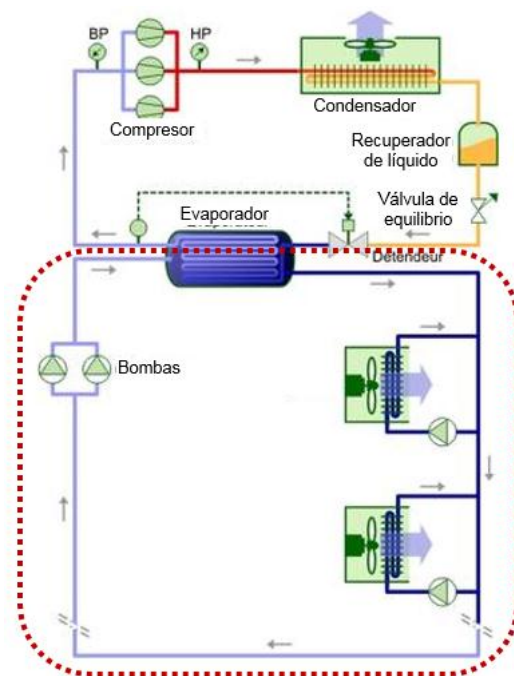
Figura 48 Ciclo frigorífico con expansión directa



Fuente: www.energieplus.be

En la expansión indirecta, la transferencia de calor útil con las aplicaciones de frío no es realizado por el refrigerante sino por otro fluido circulando en un circuito secundario, llamado frigoportador.

Figura 49 Ciclo frigorífico con expansión indirecta



Fuente: www.energieplus.be

Esta configuración es común en las aplicaciones industriales de baja temperatura donde hay varios evaporadores o grandes distancias a recorrer entre el compresor y el evaporador. En efecto, con esta solución se limita el riesgo de fugas de refrigerante (dañino para la capa de ozono) así como los riesgos de toxicidad e inflamabilidad vinculados con la circulación de refrigerante. También al tener un circuito primario más corto, se tiene menos cantidad de refrigerante. Además, se evitan las grandes caídas de presión en el circuito, que obligaría a sobredimensionar el compresor para compensar estas pérdidas de carga (en su lugar, las compensa la bomba de circulación del circuito secundario).

5.5.1 Los tipos de frigoportadores

Existen dos grandes familias de frigoportadores:

- Los frigoportadores monofásicos: líquido que no se puede congelar en el rango de temperaturas manejadas en los sistemas de refrigeración (-3°C a -38°C).
- Los frigoportadores bifásicos que se componen de un líquido y sólido o bien de un líquido y vapor.

5.5.1.1 Frigoportadores monofásicos

El frigoportador monofásico más conocido es el agua helada. En ese caso, no hay cambio de estado, la transferencia de calor se hace variando la temperatura de agua helada, calor sensible. Esto implica tener un caudal de agua helada importante y por consecuencia un consumo energético al nivel de las bombas para hacer circular el frigoportador.

Para los frigoportadores monofásicos, la transferencia de calor es del orden de 20 kJ/kg.

Adicionalmente, existen:

- Las sustancias puras como el agua, los hidrocarburos líquidos, los alcoholes simples (metanol, etanol), glicol (o anticongelante)
- Las mezclas como el agua y salmuera o el agua y el amoníaco (álcali)

La principal ventaja de estos frigoportadores es que su utilización es sencilla, sin embargo implican caudales importantes lo que deriva en un consumo energético elevado.

5.5.1.2 Frigoportadores bifásicos (líquido + sólido)

Se encuentran en las aplicaciones de frío positivo. Se utiliza el calor latente de fusión para la transferencia de calor, lo que permite reducir caudales para transferir la misma cantidad de calor que con un frigoportador funcionando con calor sensible.

Para los frigoportadores bifásicos (líquido + sólido), la transferencia de calor es del orden de 250 kJ/kg.

Al trabajar con este tipo de frigoportador, se puede reducir el tamaño de las tuberías y bombas de circulación y por lo tanto el consumo de energía eléctrica asociado. Sin embargo, el costo del evaporador es más elevado.

5.5.1.3 Frigoportadores bifásicos (líquido + vapor)

Se encuentran en las aplicaciones de frío negativo, como las que usan CO₂. Se utiliza el calor latente de vaporización para transferir el calor. La evaporización no se completa al 100% pero aun así, podemos estimar una transferencia de calor del orden de 100 kJ/kg (para temperaturas de -40°C).

Las principales ventajas son las siguientes:

- Calor latente de vaporización importante, coeficiente de intercambio térmico elevado
- Tuberías de diámetro pequeño
- Ausencia de aceite
- Precio bajo
- Poco impacto ambiental (en comparación con los refrigerantes tradicionales)
- Aplicaciones con temperaturas bajas, hasta -54°C

No obstante, presenta algunas restricciones:

- Riesgo de asfixia en concentraciones superiores al 8%
- Precauciones necesarias para efectuar el deshielo
- Pocos técnicos capacitados para su manejo
- En caso de paro, pérdidas de carga de CO₂.

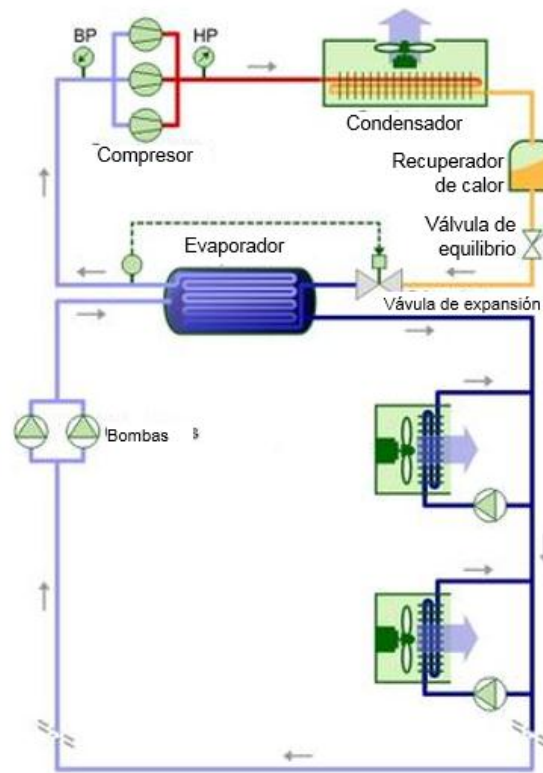
5.5.2 Los tipos de circuitos secundarios

Existen dos tipos de circuitos: evaporadores conectados en serie y evaporadores conectados en paralelo.

5.5.2.1 Conexión en serie

En esta configuración, todos los evaporadores se conectan a una sola tubería que comunica las entradas y salidas de cada uno.

Figura 50 Evaporadores conectados en serie en el circuito secundario



Fuente: www.energieplus.be

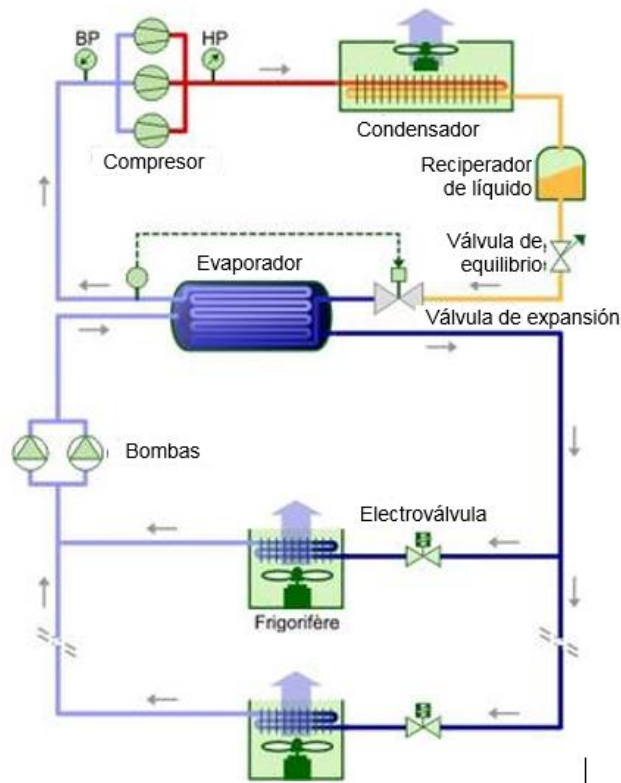
Tabla 10 Ventajas de la conexión en serie en los circuitos secundarios

Ventajas	Desventajas
Muy flexible al nivel operativo	Costo elevado
Caudal casi constante en el circuito secundario	Pérdidas energéticas más importantes cuando las necesidades de frío son bajas, al no poder hacer variar el caudal.
No se requieren variadores de frecuencias en las bombas de circulación (circuito secundario) – inversión reducida	Incremento de los costos de mantenimiento al tener bombas de circulación a la entrada de cada evaporador.

5.5.2.2 Conexión en paralelo

Esta configuración permite alimentar cada evaporador en paralelo en el circuito secundario.

Figura 51 Evaporadores conectados en paralelo en el circuito secundario



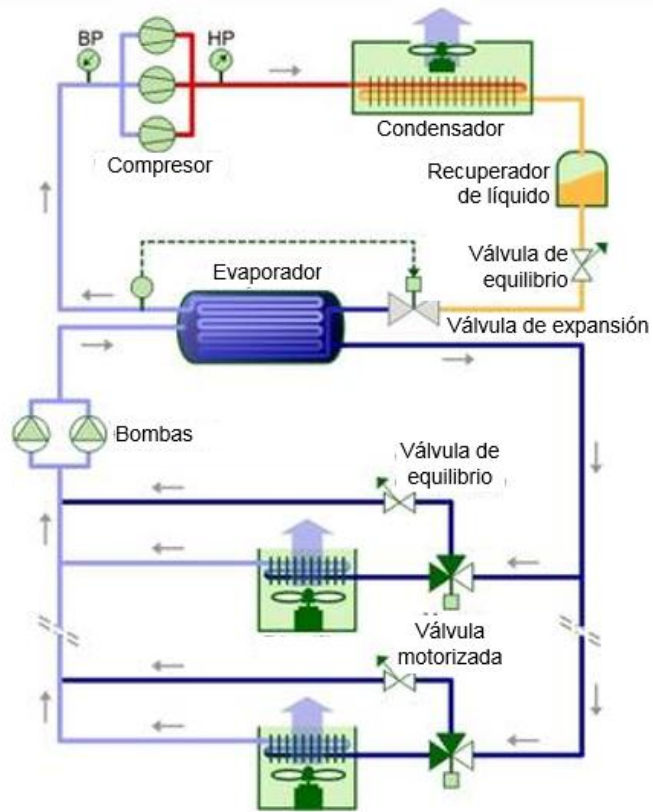
Fuente: www.energieplus.be

Tabla 11 Ventajas de la conexión en paralelo en los circuitos secundarios

Ventajas	Desventajas
Solamente se requiere de una válvula para alimentar el evaporador terminal (en lugar de una bomba en la otra configuración)	Instalación más compleja debido a la necesidad de adaptar el diámetro de tubería a lo largo del circuito
Se puede trabajar con caudal variable en las bombas de circulación del circuito secundario	Se necesita instalar variadores de frecuencia en las bombas de circulación para regular el caudal (inversión más elevada).

Para evitar tener un caudal variable en el circuito secundario, se instalan válvulas de 3 vías que sirven de by-pass. Ver esquema siguiente:

Figura 52 Alternativa circuito secundario con válvulas de 3 vías



Fuente: www.energieplus.be

6 REGULACIÓN DEL SISTEMA

Después de haber revisado las aplicaciones de los sistemas de refrigeración, se analizará cómo se regulan estos sistemas por medio de cada elemento. En efecto, entender cómo funciona la regulación en un sistema de refrigeración permitirá ubicar las vías de optimización de consumo energético.

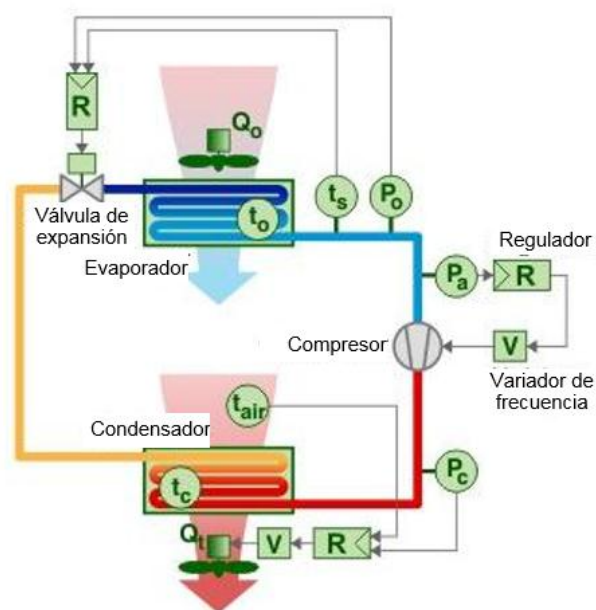
En un ciclo cerrado, los elementos están vinculados uno al otro, así que cuando un elemento del circuito modifica su régimen de funcionamiento, los otros deben modificar el suyo instantáneamente de manera a recuperar el equilibrio.

El evaporador y el condensador son los equipos donde existen las principales modificaciones de régimen:

- Las condiciones climatológicas del espacio a refrigerar dictan los cambios al nivel del evaporador.
- El condensador debe sacar el calor absorbido al nivel del evaporador y también el calor de compresión hacia el ambiente exterior. Sin embargo, las condiciones climáticas varían en cada momento.

El esquema siguiente muestra los grandes principios de regulación de los elementos del circuito frigorífico en función de las modificaciones que suceden en el evaporador y condensador.

Figura 53 Regulación completa del ciclo frigorífico



Fuente: www.energieplus.be

6.1 Regulación de la válvula de expansión

Según el tipo de válvula de expansión se puede optimizar la regulación del sobrecalentamiento (sobrecalentamiento = temperatura salida evaporador – temperatura del condensador):

- Las válvulas de expansión termostáticas, por su simplicidad, no pueden optimizar el valor del sobrecalentamiento en función de la carga del evaporador
- Las válvulas de expansión electrónicas, a través de la medición de la presión y de la temperatura a la salida del evaporador, pueden regular de manera óptima el valor del sobrecalentamiento en función de la carga del evaporador

6.1.1 Valor mínimo de sobrecalentamiento estable

La válvula de expansión asume el papel de regulador del caudal de refrigerante al evaporador (la carga frigorífica es continuamente variable del lado de la aplicación, apertura y cierre de puerta por ejemplo en una cámara frigorífica). Esta regulación se basa sobre la medición permanente del sobrecalentamiento a la salida del evaporador.

Existe, lo que se llama, un “valor mínimo de sobrecalentamiento estable” en función de la carga frigorífica del evaporador que permite garantizar la optimización de la capacidad frigorífica del evaporador, reduciendo el trabajo de compresión del compresor. En la gráfica siguiente, se muestra la relación entre el sobrecalentamiento y la carga frigorífica del evaporador.

Figura 54 Valor mínimo de sobrecalentamiento estable



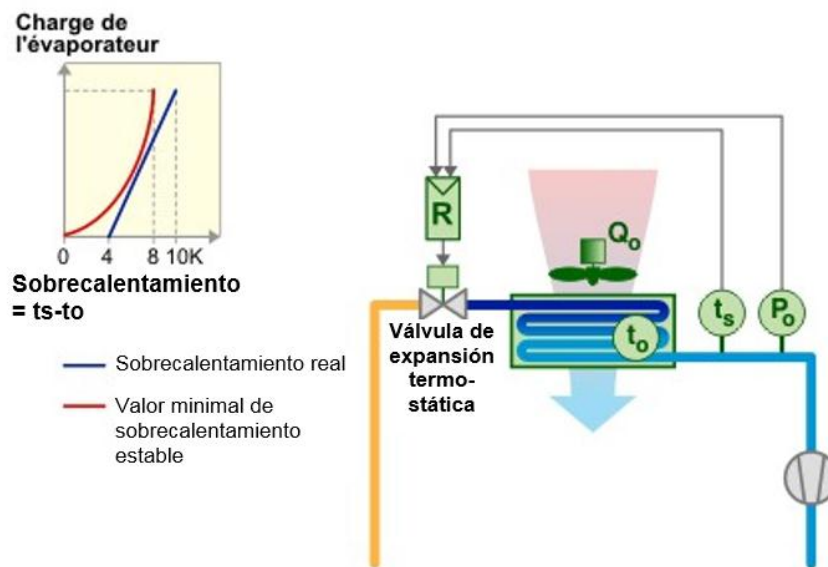
Fuente: www.energieplus.be

6.1.2 Regulación de la válvula de expansión termostática

Es la tecnología más común que encontramos en las instalaciones de pequeño o mediano tamaño. La regulación del caudal de alimentación en refrigerante del evaporador y, por consecuente del sobrecalentamiento asociado, obedece a una ley proporcional en función de la carga frigorífica requerida en el evaporador.

Como se ilustra en la gráfica siguiente, es imposible regular el sobrecalentamiento al valor mínimo de sobrecalentamiento estable, lo que conlleva a una mala gestión del llenado del evaporador:

Figura 55 Regulación del sobrecalentamiento con una válvula de expansión termostática



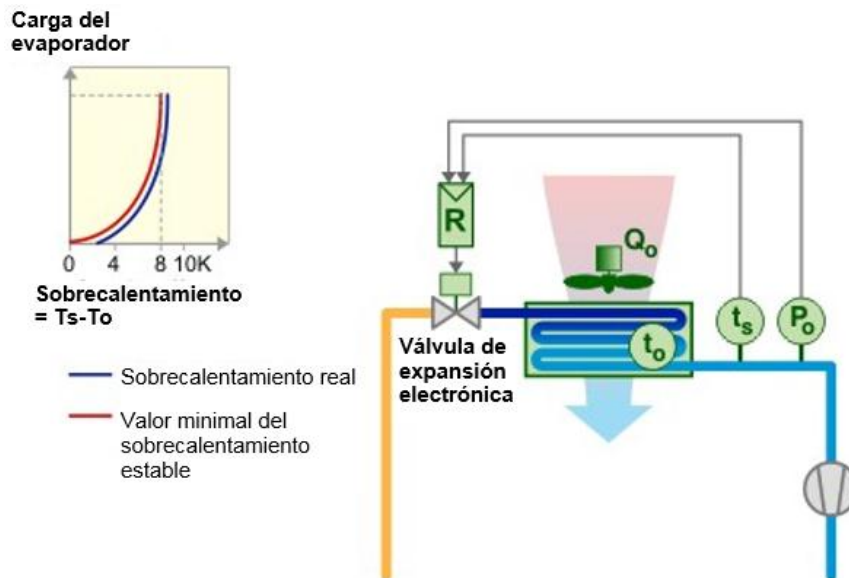
Fuente: www.energieplus.be

- A la izquierda de la curva, el refrigerante puede estar en un estado líquido para ciertos caudales o cargas frigoríficas. Este líquido puede ser enviado al compresor.
- A la derecha de la curva, no se alcanza la potencia frigorífica máxima del evaporador dado que el refrigerante ya está vaporizado cuando llega al evaporador (recordemos que idealmente, la última gota de refrigerante debe ser evaporada justo antes de la salida del evaporador).

6.1.3 Regulación de la válvula de expansión electrónica

Las nuevas tecnologías permiten seguir los valores mínimos de sobrecalentamiento estable y así el llenado adecuado del evaporador, en función de la carga frigorífica del evaporador, como lo indica la gráfica siguiente. Al estar del lado derecho de la curva, nos aseguramos que el refrigerante se vaporiza en el evaporador y no se envía líquido al compresor.

Figura 56 Regulación del sobrecalentamiento con una válvula de expansión electrónica



Fuente: www.energieplus.be

6.2 Regulación del compresor

El compresor actúa como una bomba volumétrica, adaptando su caudal a los requerimientos de la válvula de expansión. La regulación del compresor es fundamental porque la mayoría del consumo energético del grupo frigorífico viene de la electricidad consumida por el motor del compresor. Esta regulación se basa sobre la presión de aspiración del refrigerante que corresponde a las necesidades en frío del evaporador:

- Cuando la potencia frigorífica se incrementa en el evaporador, es decir que se requiere “más frío”, el sobrecalentamiento se incrementa, provocando que la válvula de expansión se abra para aumentar el caudal de llenado del evaporador en refrigerante (como lo vimos en el párrafo anterior). La presión de aspiración a la entrada del compresor se incrementa y por lo tanto, se incrementa el caudal en el compresor hasta cierto valor (al cual se restablece el valor de sobrecalentamiento estable adecuado en función de la carga frigorífica del evaporador).
- A la inversa, cuando se reduce las necesidades de frío del evaporador, se cierra la válvula de expansión, provocando una disminución del caudal de refrigerante en el evaporador y por lo tanto una reducción del caudal al nivel del compresor.

Existen varias técnicas para regular el caudal o el tiempo de funcionamiento del compresor.

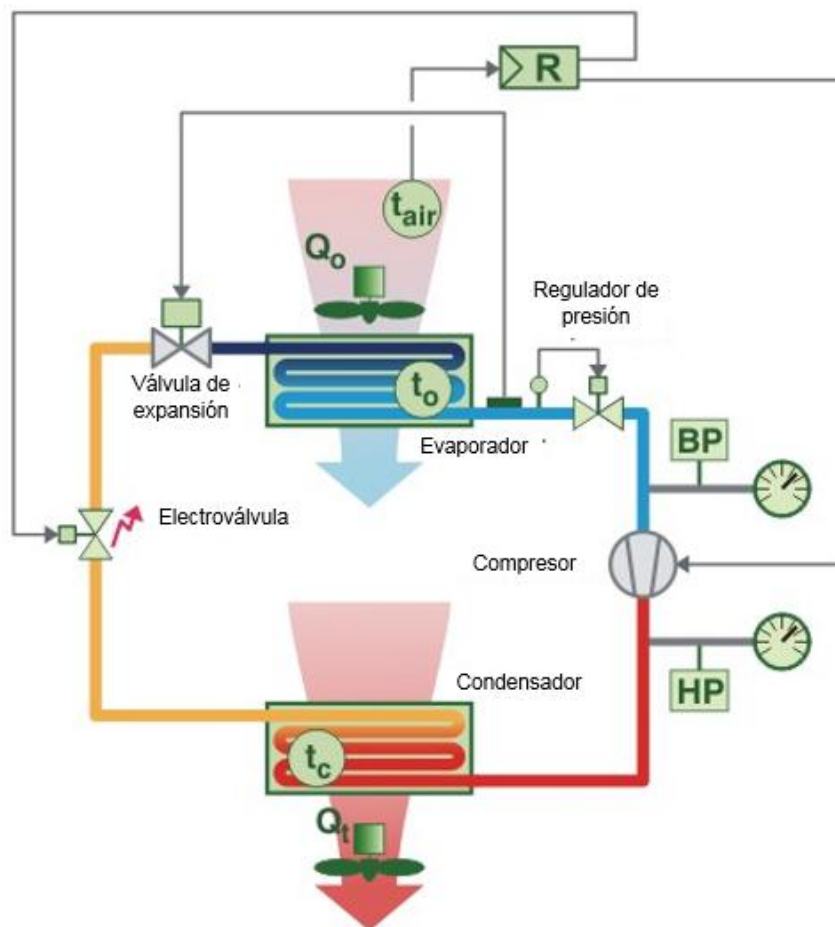
6.2.1 Regulación “Todo o Nada” por arranque/paro del compresor

Este tipo de regulación es antigua y muy básica. Se puede encontrar en muchas instalaciones, generalmente de pequeño tamaño.

No regula el compresor midiendo la presión de aspiración a la entrada (la cual traduce las necesidades del evaporador en refrigerante) pero midiendo la temperatura de la consigna del ambiente a refrigerar:

- El termostato actúa directamente sobre la alimentación del compresor, en general en paralelo con la electroválvula ubicada en la línea de líquido, después del condensador (ver gráfica siguiente).
- Los presostatos de seguridad (HP, alta presión, y BP, baja presión) pueden también actuar sobre la alimentación del compresor y de la electroválvula pero solamente en caso de emergencia (funcionamiento anormal).

Figura 57 Regulación “Todo o Nada” por arranque/paro del compresor



Fuente: www.energieplus.be

De esta manera simple y confiable, se regulan muchas instalaciones como cámaras de refrigeración con el grupo frigorífico integrado. Para equipos más potentes, existiría un riesgo de sobrecalentamiento del devanado del motor.

6.2.2 Regulación “Todo o Nada” por vaciado del evaporador (pumpdown)

El principio de regulación consiste en parar el funcionamiento del compresor por medio del presostato de Baja Presión (BP), siguiendo estas acciones:

- Cuando se alcanza el nivel de frío requerido en el ambiente a refrigerar, el termostato corta la alimentación de la electroválvula en la línea de líquido
- El refrigerante ya no puede llegar al evaporador
- Lo que queda de refrigerante en el evaporador se evapora
- El compresor sigue aspirando el poco de gas refrigerante, provocando la caída de la presión
- El presostato BP detecta esta baja presión y por lo tanto manda a parare el compresor

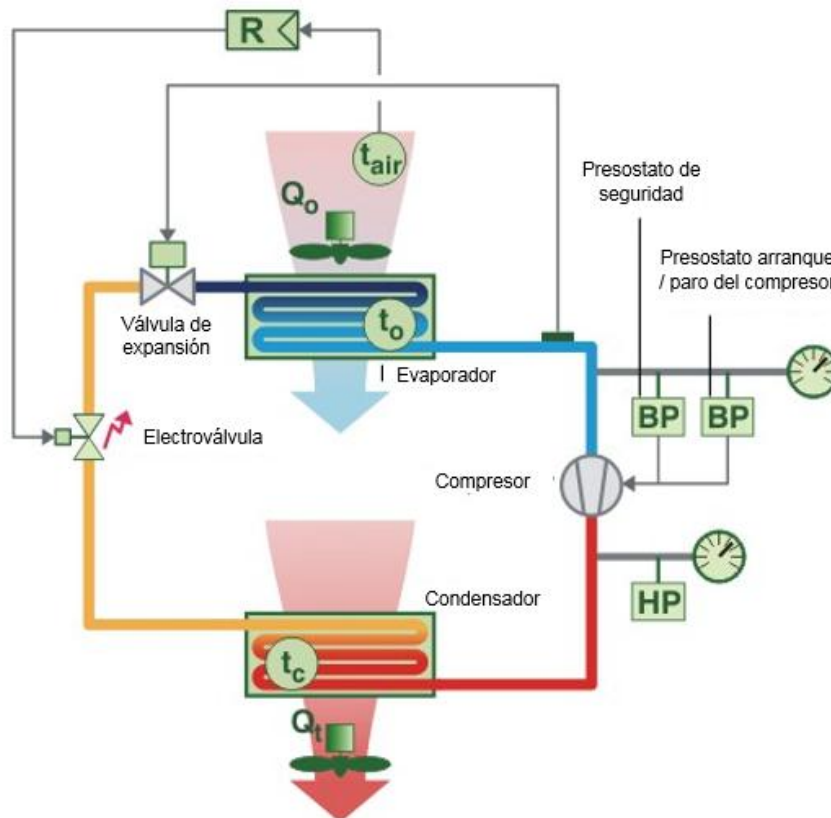
El arranque sigue la misma lógica:

- El termostato ubicado en la zona a refrigerar detecta que la temperatura se incrementó y es ahora superior a la temperatura de consigna.
- Este termostato manda abrir la electroválvula
- El refrigerante entra al evaporador
- La presión a la entrada del compresor se incrementa
- El compresor arranca bajo el efecto del presostato BP y el ciclo continúa

En este caso, existen dos presostatos BP: uno para el arranque y paro del compresor y el otro de seguridad en caso de funcionamiento anormal.

La gran ventaja de este tipo de regulación es que se vacía de refrigerante el evaporador y el circuito de baja presión. Así, cuando se para el compresor, se evita la condensación del refrigerante que se hubiera quedado en el evaporador y que hubiera provocado un golpe de líquido al arranque del compresor.

Figura 58 Regulación “Todo o Nada” por vaciado del evaporador



Fuente: www.energieplus.be

6.2.3 Regulación en cascada

El principio general consiste en recortar el trabajo total en varios escalones.

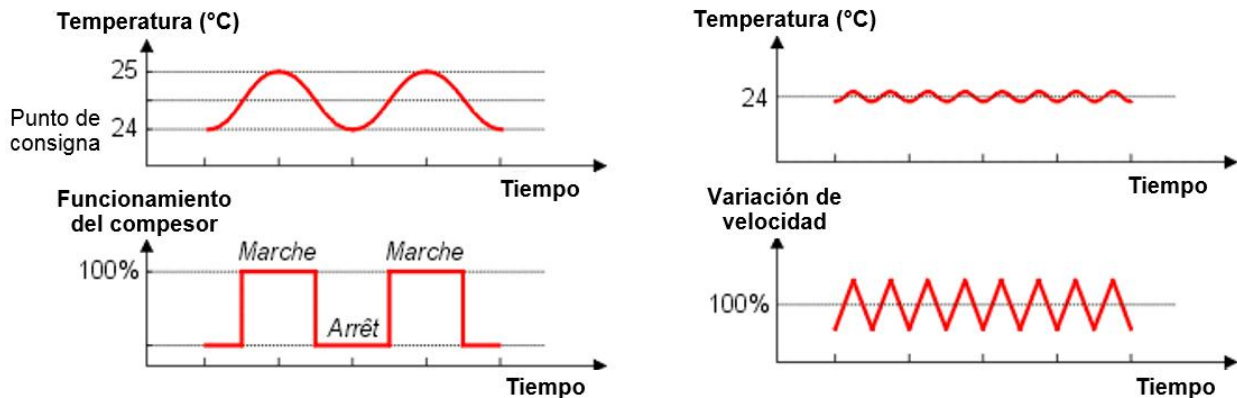
La regulación de la potencia frigorífica se realiza por medio del arranque en paralelo de los diferentes compresores en base a la presión de aspiración a la entrada de los compresores.

Como se visualiza en la gráfica siguiente, los niveles de presión de aspiración para poner en funcionamiento las etapas de compresión son diferentes de los niveles de presión que permiten reducir la presión de la central (parando sucesivamente los diferentes compresores).

Con el control tradicional en modo “Todo o Nada”, existen fluctuaciones de temperatura al nivel del evaporador que pueden ser dañinas para las mercancías o productos almacenados. También conlleva a un rendimiento del compresor bajo.

Al hacer variar la velocidad del compresor, el volumen de refrigerante a comprimir es variable, así se adapta la potencia frigorífica a la carga térmica de los espacios a refrigerar. Cuando el termostato mide una diferencia de temperatura entre la consigna y la temperatura registrada en la cámara de refrigeración, el sistema de regulación actúa sobre la velocidad de rotación del compresor, modificando el caudal de refrigerante admitido. Este modo de regulación se llama “INVERTER” y permite variar la velocidad del compresor sin pérdidas importantes de rendimiento.

Figura 61 Funcionamiento “Todo o Nada” vs. Funcionamiento con velocidad variable



Fuente: www.energieplus.be

En la regulación INVERTER, el arranque del compresor se hace siempre a baja velocidad (al contrario del funcionamiento “Todo o Nada”), así el pico de corriente requerido para el arranque es reducido.

Actualmente, los variadores de frecuencia cuentan con filtros para eliminar los armónicos dañinos a la red eléctrica, eliminando así el problema que existía con algunos antiguos modelos de variadores de frecuencia comercializados.

Poco a poco, vemos que el compresor tradicional a pistón es remplazado por:

1. El compresor rotativo: mismo rendimiento, menor nivel de ruido, funcionamiento de velocidad variable
2. El compresor scroll: mejor rendimiento, nivel de ruido aún más bajo, funcionamiento de velocidad variable

6.2.5 Paro de cilindros (compresores a pistón)

Se puede regular la potencia frigorífica parando uno o varios cilindros del compresor a pistón. Para eso, basta con mantener la válvula de aspiración abierta continuamente.

Este sistema es simple y confiable pero medianamente eficaz al nivel energético. Tiene el inconveniente de no regular la potencia de manera continua sino por salto. Además el desgaste del equipo es el mismo que funciona con carga o sin carga.

6.2.6 Obturación del orificio de aspiración

En los compresores a pistón, un obturador controlado por una electroválvula tapa la entrada de uno o varios cilindros, reduciendo de esta manera el caudal y por lo tanto la potencia frigorífica. Este sistema tiene la desventaja de provocar un sobrecalentamiento del compresor, obligando a dejar uno o dos cilindros sin obturador.

6.2.7 Regulación por escalón de los compresores tornillo

Los compresores tornillo son generalmente equipados de un dispositivo que permite regular su potencia de 100% a 10%. El rendimiento del equipo no es afectado hasta llegar al 50% de su carga nominal. Debajo de este valor, el rendimiento disminuye, por eso, no se recomienda trabajar a baja carga. Dado lo anterior, es fundamental no sobredimensionar las instalaciones.

Este mecanismo permite también asegurarse el arranque en vacío del compresor.

6.3 Regulación del evaporador

6.3.1 Regulación del lado de la aplicación

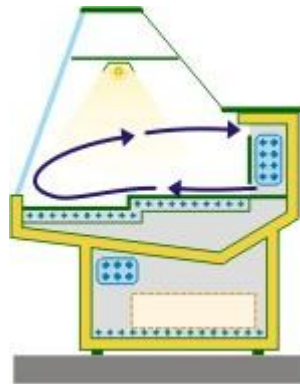
La carga frigorífica varía al nivel del evaporador debido a varios eventos como son:

1. Las aperturas y cierres constantes de las puertas de las cámaras frigoríficas o de los muebles frigoríficos
2. Las cargas y descargas de mercancías que contienen un alto grado de humedad
3. La variación del clima en el contexto de un mueble frigorífico abierto
4. En una instalación industrial donde se tenga varias aplicaciones frigoríficas conectadas en un circuito secundario funcionando con agua helada, glicol, CO₂, etc.; las aplicaciones no tienen el mismo perfil horario de demanda frigorífica

La carga térmica del aire se pasa, por medio de las aletas del evaporador, al refrigerante (o al fluido del circuito secundario). Este intercambio se hace por convección (natural o forzada) o por conducción:

- En algunas aplicaciones, como las vitrinas frigoríficas por ejemplo, el intercambio se hace naturalmente, por convección. Cuando se abre la puerta, el flujo de aire se distorsiona y por consiguiente afecta el intercambio con el evaporador.

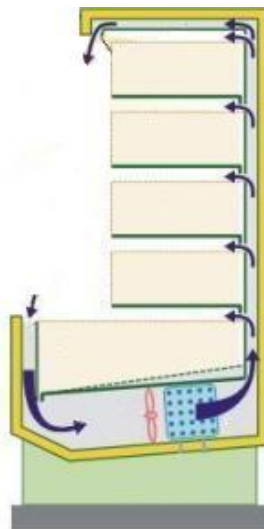
Figura 62 Mueble frigorífico con convección natural



Fuente: www.energieplus.be

- En la mayoría de las aplicaciones, el intercambio se hace por convección forzada por medio de un ventilador. Generalmente, el ventilador funciona en modo continuo o bien en modo “Todo o Nada” en base a una temperatura de consigna para el espacio a refrigerar

Figura 63 Mueble frigorífico con convección forzada



Fuente: www.energieplus.be

Puede ser interesante en instalaciones de gran tamaño trabajar con una velocidad variable al nivel de los ventiladores. Por ejemplo, en las cámaras frigoríficas, en los periodos de poca actividad, la potencia frigorífica requerida es baja. De esta manera, para evitar hacer funcionar el ventilador en modo “todo o nada” con arranques frecuentes, se recomienda instalar un variador de frecuencia para reducir la velocidad del ventilador.

6.3.2 Regulación del evaporador del lado del refrigerante

La regulación de la carga frigorífica del lado del refrigerante es bastante compleja. Como lo hemos visto antes, la regulación del intercambio de energía al nivel del evaporador es básicamente realizada por la válvula de expansión, la cual controla el caudal de llenado del evaporador en función del sobrecalentamiento (sobrecalentamiento = temperatura salida evaporador – temperatura del condensador) y también por el compresor que controla la alimentación en refrigerante.

Sin embargo, como vimos, la regulación “todo o nada” del compresor provoca una cierta cantidad de arranques y paros del compresor que hacen oscilar la temperatura interior de las cámaras de refrigeración o muebles frigoríficos. Así, es importante buscar la manera de adaptar de manera más progresiva la potencia frigorífica del equipo a las necesidades de frío del local o cámara de refrigeración.

6.3.2.1 El regulador de presión de evaporación

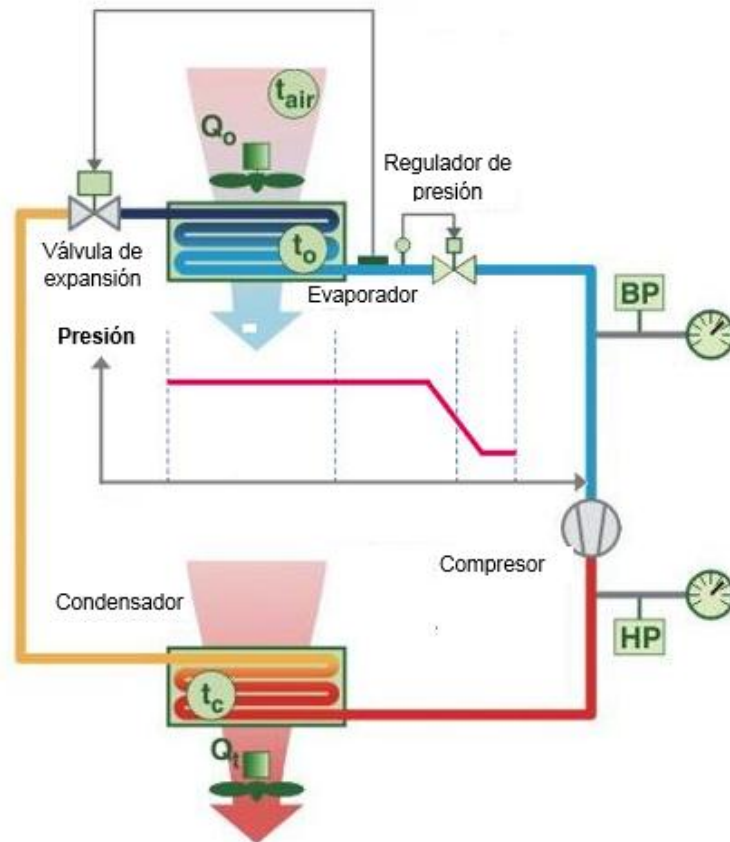
Si consideramos una carga frigorífica baja, el compresor va a aspirar el poco de gas refrigerante que haya. La presión de aspiración va a disminuir provocando una disminución de la temperatura de evaporación y en consecuencia un riesgo de congelamiento del evaporador.

Para evitar esta situación, se instala un regulador de presión entre el evaporador y el compresor, que actúa como una “llave”, creando una pérdida de carga. La presión en el evaporador será constante pero bajará mucho del lado del compresor, es como una “llave a presión constante”.

La potencia frigorífica va a disminuir pero las temperaturas a la salida del compresor van a subir (hasta 100°C). Si la carga se incrementa, esta válvula se abre y el caudal de refrigerante se incrementa. A máxima carga térmica, la “llave” está totalmente abierta. Con este tipo de regulación, el rendimiento energético de la instalación frigorífica disminuye considerablemente.

A pesar de la degradación del rendimiento, este tipo de regulación es utilizado con frecuencia cuando la reducción de potencia frigorífica no excede 40 a 50%.

Figura 64 Regulación de la presión de evaporación



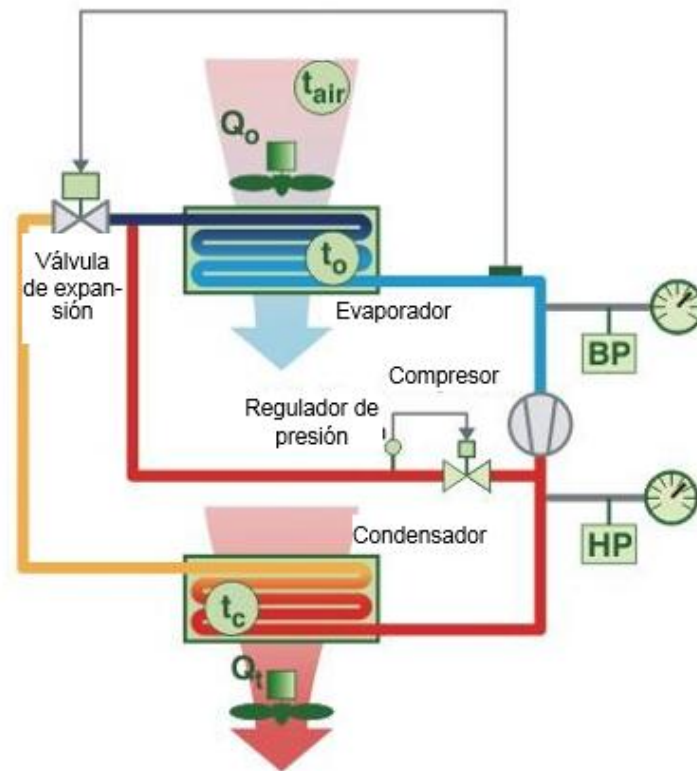
Fuente: www.energieplus.be

6.3.2.2 Regulación a través de la inyección de gases calientes

El principio consiste en inyectar los gases calientes que salen del compresor a la entrada del evaporador, justo después de la válvula de expansión. Un regulador de capacidad (o de potencia) mantiene la presión de evaporación al valor establecido mientras la válvula de expansión regula el sobrecalentamiento a la salida del evaporador, de esta manera la temperatura del gas refrigerante a la salida del evaporador queda constante. Todo esto permite que el caudal de refrigerante que pasa por el evaporador sea constante.

Cuando la carga térmica disminuye, es decir cuando no se requiere enfriar mucho el espacio (la cámara de refrigeración por ejemplo), el regulador de capacidad se abre para mantener la presión. Con el paso de una parte de los gases del refrigerante calientes (saliendo del compresor) y a baja presión se complementa la carga térmica al nivel del evaporador. Con este tipo de sistema, la potencia del evaporador puede variar en rango muy amplio del 0 al 100%.

Figura 65 Regulación del evaporador con inyección de gases calientes



Fuente: www.energieplus.be

Sin embargo, este funcionamiento es perverso. Si las necesidades de frío disminuyen, aunque podríamos reducir el trabajo de compresión del compresor, se reinyecta calor adicional para dar más trabajo al compresor...

Podemos comparar esta situación con el caso siguiente: una bomba que hace circular agua de un depósito de poca altura a uno de mayor altura. Por miedo al riesgo de que se pare la bomba si no tiene suficiente agua que bombear, inyectamos, en el depósito de baja altura, agua adicional proveniente del depósito de mayor altura. Así la bomba puede seguir funcionando sin problema.

Esta técnica resulta ser "pura destrucción de energía". La potencia absorbida (energía eléctrica) es la misma aunque la potencia frigorífica disminuye... además provoca un sobrecalentamiento del motor. Sin embargo, se emplea muy a menudo dado que requiere poca inversión. **En la medida de lo posible, es importante poner este sistema de regulación fuera de servicio en las instalaciones existentes.**

6.3.3 Consigna flotante de baja presión

Más de la mitad del tiempo, las necesidades frigoríficas de los muebles, vitrinas y cámaras de refrigeración son limitadas debido a la poca o nula actividad comercial (no se abren las puertas, se saca poco producto, etc.). En consecuencia, la temperatura de consigna del evaporador podría ser más alta sin afectar la conservación de los productos alimenticios.

Por ejemplo, las temperaturas de consigna que encontramos frecuentemente en las aplicaciones de frío positivo son del orden de -10°C a -12°C durante el día en plena actividad (apertura y cierre constante de las puertas de una vitrina o de una cámara de refrigeración). Subir la temperatura de consigna de evaporación a -5°C , durante la noche cuando la actividad es muy limitada, no afecta la conservación de los productos y la ventaja es que:

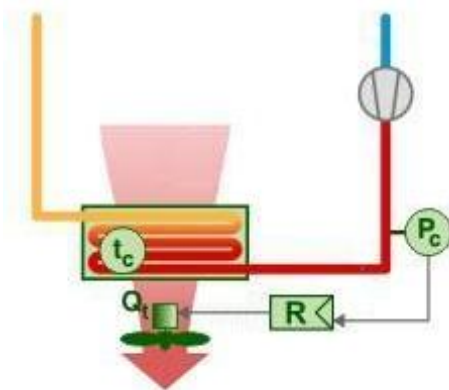
- El consumo energético del compresor disminuye de 2 a 3% por cada K
- La cantidad de deshielo se reduce
- Los productos conservadores son menos expuestos a las variaciones de temperatura entre el día y la noche

6.4 Regulación del condensador

Generalmente, se consideran dos tipos de regulaciones al nivel del condensador:

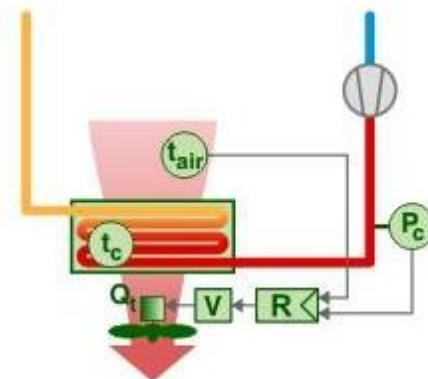
- Regulación a presión (o temperatura) de condensación constante
- Regulación a presión (o temperatura) de condensación flotante

Figura 66 Regulación con presión de condensación constante



Fuente: www.energieplus.be

Figura 67 Regulación con presión de condensación flotante



Fuente: www.energieplus.be

Considerando una presión de evaporación fija, la regulación del condensador depende sobre todo de la elección de la válvula de expansión:

- La válvula de expansión termostática es sensible a las variaciones de presión de condensación
- La válvula de expansión electrónica es menos sensible a las variaciones de presión de condensación

6.4.1 En asociación con una válvula de expansión termostática

Las válvulas de expansión termostáticas trabajan generalmente con un condensador cuya presión de condensación es fija. La presión de condensación medida a la entrada del condensador es regulada al hacer variar el caudal de aire por medio de un ventilador, controlado por un sistema “todo o nada”

La válvula de expansión termostática requiere de una presión de condensación suficiente para funcionar de manera óptima. En la práctica, una diferencia de presión del orden de 10 a 12 bares es necesaria en la válvula de expansión termostática con el fin de alimentar correctamente al evaporador.

6.4.2 En asociación con una válvula de expansión electrónica

Las válvulas de expansión electrónicas empiezan a implantarse en el sector del frío comercial. Tienen la gran ventaja de poder disminuir drásticamente el consumo energético del compresor. También toleran mejor las variaciones de presión entre su entrada y su salida que las válvulas de expansión termostáticas, lo que implica que aceptan mejor las bajas presiones de condensación.

La presión de condensación medida a la entrada del condensador es regulada al hacer variar el caudal de aire. No es un sistema “todo o nada”, actuando al nivel de la alimentación eléctrica del ventilador, que hace variar el caudal de aire sino un sistema de variación de frecuencia que actúa sobre la velocidad del ventilador, de manera continua, aprovechando el poder refrescante del aire exterior para bajar la presión de condensación.

6.5 El deshielo

El aire ambiente que circula alrededor del evaporador en las cámaras de refrigeración o en los muebles frigoríficos está cargado en humedad, es decir que contiene agua. Esta agua se

congela al contacto de la superficie fría del serpentín del evaporador cuando su temperatura es inferior a 0°C.

6.5.1 Consecuencia del hielo en las maquinas frigoríficas

6.5.1.1 Del lado de la cámara de refrigeración o vitrina frigorífica

El hielo disminuye el intercambio de calor entre la superficie del serpentín del evaporador y el aire.

El hielo depositado sobre las aletas del serpentín impide una buena circulación del aire impulsado por el ventilador, por lo tanto, el caudal de aire disminuye y la transferencia de calor del serpentín al aire es menor. La temperatura de la cámara de refrigeración puede llegar a subir.

6.5.1.2 Del lado del circuito frigorífico

El congelamiento del evaporador provoca las siguientes acciones en cascada:

1. La capa de hielo entre el serpentín y el aire funciona como capa aislante al disminuir el intercambio de calor, el resultado es que no todo el refrigerante se evapora en el evaporador.
2. La cantidad de gas refrigerante disminuye (una parte queda líquida) pero el compresor sigue aspirando el gas refrigerante dado que la temperatura no ha llegado a la temperatura de consigna. La presión a la entrada del compresor (BP) disminuye y por lo tanto la temperatura de evaporación. Entonces, la diferencia de temperatura entre el ambiente de la cámara de refrigeración y el evaporador se incrementa, la energía frigorífica entregada aumenta pero esto provoca un incremento del efecto de deshielo.
3. La válvula de expansión actúa por su lado, detectando un bajo sobrecalentamiento del gas refrigerante (recordemos que la presión disminuye). En consecuencia, disminuye el caudal de refrigerante a la entrada del evaporador (pensando que la carga frigorífica de la cámara de refrigeración disminuyó). La cantidad de refrigerante vaporizado en el evaporador disminuye y la presión a la entrada del compresor disminuye aún más. El proceso de congelamiento se incrementa.
4. Este efecto puede llegar a provocar el congelamiento de la tubería de aspiración del gas refrigerante al compresor, provocando un “golpe de líquido” si algunas gotas llegan a pasar hasta el compresor.

En esta situación, el compresor de la máquina frigorífica trabaja con un bajo rendimiento energético.

6.5.2 Las etapas del proceso de deshielo

A continuación, se presentan las etapas más utilizadas para proceder al deshielo:

1. Paro de la alimentación en refrigerante en el evaporador

Se corta la alimentación eléctrica de la válvula ubicada justo antes de la entrada del evaporador, la válvula se cierra, la presión disminuye y el compresor se para cuando se alcanza el nivel de presión del presostato.

2. Paro del ventilador del evaporador

Se para el ventilador para evitar la difusión, en la cámara de refrigeración, del calor proveniente del descongelamiento del evaporador.

En algunos modelos, existe un sistema “shut-up” que parece un “calcetín” de fibra poliéster montado sobre del ventilador y de unos 50 cm de largo. Cuando se para el ventilador, el shut-up se dobla y crea una barrera física al calor producido por el descongelamiento.

3. Recalentamiento del serpentín hasta una temperatura > 0°C para derretir el hielo

Es necesario instalar una sonda de temperatura para detectar la terminación del proceso de deshielo y reanudar la producción de frío. En la práctica, es un poco difícil determinar la ubicación adecuada de esta sonda dado que el congelamiento del evaporador no siempre es uniforme.

Existen diferentes opciones para el calentamiento del serpentín:

- *Resistencias*: el fabricante estudia la ubicación y la potencia de estas resistencias para asegurar un calentamiento uniforme del serpentín. Es un método muy simple y muy común en los sistemas medianos. El inconveniente es que 100% del consumo es eléctrico.
- *Introducción de los gases expulsados por el compresor*: esta técnica conocida como “gases calientes” consiste en invertir el ciclo y hacer funcionar, por la duración del deshielo, el evaporador como condensador. Generalmente, el proceso de deshielo es muy corto, a veces algunos segundos. Esta técnica es muy económica de implantar, sin embargo, complica el circuito al tener que instalar válvulas 4 vías y válvulas electromagnéticas.
- *Aspersión de la superficie externa del serpentín congelado con agua*. Se debe hacer con agua fría y no agua caliente o al tiempo para evitar agregar una carga térmica adicional a la cámara de refrigeración.
- *Circulación de aire en la cámara de refrigeración*: se hace circular aire interior o aire exterior a través del serpentín. En el caso del aire interior, el proceso de deshielo toma tiempo. En el caso del aire exterior a la cámara de refrigeración, es necesario aislar el evaporador del resto de la cámara, lo que no es simple...

4. Recirculación del refrigerante

Cuando todo el hielo desapareció y el agua se escurrió, empieza la recirculación del refrigerante para enfriar nuevamente el serpentín del evaporador.

5. Restablecimiento del funcionamiento del ventilador

Después de la apertura de la válvula inicialmente cerrada, se espera a que la temperatura del serpentín sea inferior a la temperatura de la cámara de refrigeración. Una vez completada esta acción (técnica conocida como “snap freeze”), se enciende el ventilador. Si se enciende antes el ventilador, se pueden esparcir calor en la cámara de refrigeración o gotas de agua.

6. Reanudación del ciclo de refrigeración

La inercia térmica de los productos y artículos almacenados es suficiente para mantener la temperatura en un rango de temperatura aceptable.

6.5.3 Regulación del proceso de deshielo

6.5.3.1 La regulación por medio de un reloj

Es el mecanismo más sencillo: el inicio y el fin del proceso de deshielo es controlado por medio de relojes.

6.5.3.2 La regulación electrónica inteligente

Se encuentran comúnmente dos técnicas:

A la programación horaria tradicional del proceso de deshielo, se le asocia un regulador cuya función es analizar la curva de subida de la temperatura. Si no detecta una fase durante la cual la temperatura es constante (fusión del hielo), deduce que no hay congelamiento y frenará la frecuencia de los procesos de deshielo.

La segunda técnica consiste en asociar la regulación del proceso de deshielo (realizada por medio de dos sondas de temperatura: una en la cámara de refrigeración y la otra sobre la aletas del serpentín del evaporador) y una técnica particular de deshielo:

- Si la temperatura de la cámara de refrigeración es positiva (almacenamiento a 4°C o 5°C), el aire ambiente de la cámara provocará el deshielo del serpentín, “regresando” el frío hacia la cámara así como la humedad
- Si la temperatura de la cámara de refrigeración es negativa (almacenamiento a -20°C), el hielo depositado sobre el serpentín estará a una temperatura de -25°C, en un estado

de “polvo”. El aire de la cámara provocará la sublimación del hielo (del estado sólido al estado gaseoso)

En el caso de que se esté cargando la cámara con productos, el proceso de deshielo se programa por medio de resistencia dado que no será posible derretir el hielo con el aire ambiente.

Independiente del sistema de regulación inteligente, los aparatos son generalmente flexibles y permiten proponer funcionamientos complementarios como:

- Alarmas,
- Bajar la temperatura de consigna de 5°C durante los horarios en los cuales la electricidad es más barata
- Para la maquina frigorífica durante el periodo punta

7 COMO REALIZAR EL LEVANTAMIENTO EN CAMPO

En esta sección, se describirá la información que se debe recolectar en campo para poder hacer el análisis de eficiencia energética de las instalaciones de refrigeración, los elementos que se deben revisar, inspeccionar, preguntar para tener índices de las oportunidades de ahorro de energía.

Como primera actividad, se deberá obtener del personal indicado de la PyME, un listado de los equipos instalados y utilizados, con las características técnicas y operativas.

Se analizarán primero los equipos y elementos de la máquina frigorífica por separado y posteriormente, según la finalidad del sistema de refrigeración (almacenamiento de productos, proceso, etc.), las condiciones de operación y funcionamiento así como los criterios de diseño.

7.1 Características generales del sistema de refrigeración

7.1.1 Antigüedad

Preguntar al personal por la antigüedad de la instalación o ver en la placa de los equipos el año de fabricación

Si los sistemas de refrigeración tienen una antigüedad mayor a 10 años, es recomendable reemplazarlos por equipos nuevos, debido a que las tecnologías han estado mejorando y por lo tanto, se ha incrementado la eficiencia de los equipos (que puede llegar a ser hasta un 30%).



7.1.2 Aislamiento

Verificar que la tubería que conecta el evaporador al compresor cuente con aislamiento. Como la temperatura del refrigerante que sale del evaporador es baja, esta tubería debe estar forrada con un material aislante.

Si la línea del circuito de refrigeración no cuenta con el aislamiento adecuado o éste se encuentra deteriorado, existe una gran pérdida de energía por “escape” de frío a los alrededores, lo que ocasiona que los equipos trabajen más de lo necesario y consuman más energía. Por lo anterior, se deberá considerar instalar el aislamiento o reparar el existente.

7.1.3 Gas refrigerante

Preguntar qué gas refrigerante utiliza el sistema de refrigeración o bien verificar en los datos de placa del equipo. El R-12 es actualmente prohibido en México y el refrigerante R-22 ya dejó de producirse desde enero 2015 y será permitido hasta 2030 (ver sección 3. Refrigerantes).

Durante el recorrido de las instalaciones, verificar el adecuado volumen de refrigerante en el sistema. En efecto, un bajo volumen provoca un sobreconsumo importante de electricidad del sistema.

7.1.4 Ubicación de los equipos

En los equipos divididos (para aplicaciones industriales o instalaciones centralizadas), generalmente se encuentra el condensador en la azotea y la válvula de expansión y el evaporador en el espacio a refrigerar (mueble frigorífico, cámara de refrigeración o refrigerador). En ciertas instalaciones, el compresor o los compresores se encuentran en un cuarto de máquinas. Estos equipos se conectan entre ellos por medio de tuberías. La línea entre el evaporador y el compresor debe ser la más corta posible. Los largos tramos de tubería, los codos, conexiones, filtros instalados provocan pérdidas de carga y por lo tanto afectan el rendimiento energético global del sistema.

Es importante revisar que las líneas de distribución y tuberías de conexión sean las más rectas posibles, sin muchos obstáculos.

7.1.5 Mantenimiento

Un buen mantenimiento preventivo es fundamental para asegurar el buen funcionamiento del sistema y el rendimiento energético de la instalación. Un filtro de succión tapado provoca una caída de presión, lo que reduce la eficiencia del equipo. Un serpentín sucio no permite un intercambio de calor óptimo y provoca también la disminución del rendimiento del sistema.

En primer lugar, verifique que las instalaciones cuenten con un programa de revisión (bitácora, check-list, etc.) y de mantenimiento preventivo (rutinas mensuales, anuales, etc.). Validen que se lleven efectivamente a cabo estos programas.

Luego, durante el recorrido de las instalaciones, revise el estado de los equipos, tuberías y aparatos de medición (termómetro, manómetro, etc.). Apunte y/o saque fotos en caso de deterioro evidente, aislamientos dañados, fugas de refrigerantes, manchas de aceite en el compresor, etc.

En caso de una fuga por ejemplo, la presión del sistema disminuye y el compresor tiene que trabajar más (a mayor carga y por más tiempo) para compensar la pérdida de presión.

Un tubo aplastado o con taponamiento produce una restricción en el paso del refrigerante.

Se recomienda verificar periódicamente la consistencia del refrigerante para observar si no está contaminado (agua, aceite, etc.). Esta acción puede asegurar una detección temprana de problemas de operación y mantenimiento.

Preguntar o revisar si la tubería o serpentín del evaporador no está congelada o escarchada. Esto puede ser la señal de que existe una falla en el sistema de deshielo, que el ventilador este dañado, que falte gas refrigerante en el sistema o que el evaporador requiere de limpieza.

7.1.6 COP

El COP refleja el rendimiento energético del sistema de refrigeración (reportarse a la sección 2.4.2 y 2.4.3 para ver como evaluarlo).

A partir de los datos de placa y de la información disponible sobre este equipo en el manual o en internet, se puede calcular el COP teórico del equipo.

Si existen equipos de medición como manómetros, termómetros,... se puede medir el COP del sistema en funcionamiento y compararlo contra el COP teórico.

Con la medición o cálculo del COP, será muy sencillo evaluar los ahorros energéticos asociados a las mejoras implantadas.

7.2 Componentes del sistema de refrigeración

7.2.1 Compresor

Durante el recorrido de las instalaciones, identifique si existen vibraciones que produzcan chillidos o ruidos excesivos. Esto puede deberse al desgaste de las piezas en movimiento y habrá que lubricar, engrasar o alinear las piezas. Conversar con el personal de mantenimiento, si el ruido persiste o aumenta, se requiere de un mantenimiento correctivo con personal calificado.

Si el compresor es antiguo (> 10 años), en un estado deteriorado por falta de mantenimiento o no cuenta con la tecnología de punta (ver sección sobre compresores en el 4.1) o ha sido sometido a algún tipo de reparación, se recomienda sustituirlo por un equipo reciente de mayor eficiencia, lo que podrá ser una gran oportunidad de ahorro de energía (hasta un 30% del consumo eléctrico del compresor).

Pregunte al personal de la empresa encargado si la operación o las necesidades han cambiado desde que se instaló el sistema de refrigeración. Cuando se diseña un sistema, se hace considerando una carga térmica determinada. Sin embargo, con el paso del tiempo, suele quedar rebasado, debido al incremento de carga térmica, lo que ocasiona que el sistema no

pueda proporcionar el enfriamiento necesario y el compresor trabaje por más tiempo del que fue establecido por su diseño. Esta situación provoca un desgaste más rápido de lo normal y un mayor consumo de energía.

En caso contrario, el sistema podría haber quedado sobredimensionado, lo que implica tener temperaturas más bajas de lo necesario y también un mayor consumo de energía.

Observe el funcionamiento del compresor o pregunte al personal operativo, en particular la frecuencia de arranques y paros de este equipo y el tiempo de funcionamiento.

Un incremento en el tiempo de funcionamiento del compresor refleja:

- O una falta de refrigerante,
- O una falta de mantenimiento en el evaporador y/o condensador (serpentín sucio),
- O un mal funcionamiento del compresor

Un incremento en la cantidad de arranques y paros del compresor se debe a:

- La suciedad del serpentín del condensador,
- O fugas de refrigerante,
- O mala alimentación en refrigerante de parte de la válvula de expansión

Tanto un incremento en el tiempo de funcionamiento el compresor como en la cantidad de paros y arranques produce un incremento en el consumo de energía eléctrica, por lo que se debe investigar el origen de este funcionamiento inadecuado.

7.2.2 Condensador

Verifique que el condensador este limpio y no tenga algún elemento que obstruya el paso del aire libremente ya que la suciedad en el serpentín reduce el paso del aire y la transferencia de calor al medio ambiente.

Si se puede, mide o anote la presión. Si registra una presión alta (contra la presión normal de trabajo del equipo) puede significar que haya obstrucción o suciedad dentro del condensador, del lado del refrigerante y requiera de mantenimiento.

Como se ha descrito en la sección 4.2, existen sistemas enfriados por aire por agua:

- Por agua:
 - Verifique el funcionamiento adecuado del condensador evaporativo o torre de enfriamiento, un escaso flujo de agua reduce el intercambio de calor y por lo tanto la eficiencia del sistema. También, pregunte por el tratamiento de agua aplicado, cuando se realizó el último, verifique los parámetros medidos (dureza, contenido de sales, etc.) contra los establecidos.
 - El circuito de agua de enfriamiento debe ser cerrado de preferencia. Si el agua de enfriamiento se tira al drenaje, evalúa la factibilidad de recuperarla o instalar un circuito cerrado de enfriamiento. En caso de grandes instalaciones, se puede

recuperar el calor de este circuito para el calentamiento de agua sanitaria o de proceso.

- Por aire: el condensador debe estar ubicado en un lugar ventilado, donde pueda desechar el aire libremente y obtener el aire de repuesto, lo más fresco posible. Proponer la reubicación de los condensadores que se encuentren en el interior de la planta. En caso de no tener espacio exterior, se pueden utilizar techos de la construcción.

Figura 68 Condensador mal ubicado



Figura 69 Condensador bien ubicado



Verifique también el funcionamiento del ventilador.

7.2.3 Evaporador

De lado exterior, verifique que el evaporador este limpio, sin que ningún elemento que obstruya el paso del aire y que el aire “enfriado” pueda circular por toda el área a refrigerar. En dado caso, sugiere un reacomodo de la carga en el interior del cuarto frío.

Las aletas del serpentín deben estar en buen estado, sin estar doblada.

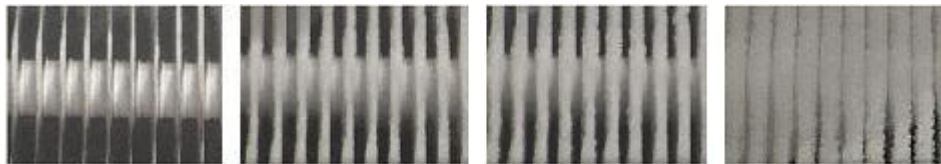
Figura 70 Aletas en mal estado



Compruebe que no hay vibraciones o ruidos metálicos por roce de alguna pieza. Una vibración excesiva se debe a desgaste de los motores o una carcasa mal armada después de un mantenimiento, aspas rotas o golpeadas.

El evaporador deberá de estar libre de escarcha o hielo. Como lo vimos en la sección 6.5, el hielo reduce la potencia frigorífica y por lo tanto la eficiencia del sistema.

Figura 71 Formación de hielo en las aletas del evaporador



Pregunte al personal por el proceso de deshielo del equipo. Es importante evitar el descarche con agua a temperatura ambiente o caliente cuando el evaporador está frío, siempre se debe usar agua fría.

Los procesos de deshielo consumen energía, por lo tanto, en base a lo indicado en la sección 5.2, se deberá buscar la optimización de este proceso, que no dure demasiado para cuidar el consumo energético pero lo suficiente para asegurar la desaparición del hielo.

Finalmente, en caso de ser factible, verifique la temperatura de evaporación. Una disminución de la temperatura de evaporación es señal de suciedad en el interior del serpentín, sugiere que se realice el correspondiente mantenimiento preventivo.

7.3 Verificaciones sencillas de los parámetros de funcionamiento

7.3.1 Diferencia: temperatura de evaporación y temperatura de aire a la salida

En sistema de expansión directa, para un evaporador a aire, si la diferencia entre la temperatura de evaporación y la temperatura del aire a la salida del evaporador es superior a 10°C, es una prueba de incrustación o de presencia de hielo permanente (provoca una caída del rendimiento). Indica la necesidad de limpiar o realizar el proceso de deshielo.

Cuando el sistema se compone de dos circuitos primarios y secundarios, para un evaporador de agua con glicol, de la misma manera, si la diferencia entre la temperatura de evaporación y la temperatura del aire a la salida del evaporador es superior a 6°C, es una prueba de incrustación y se requiere limpiar el serpentín.

Medir la temperatura de evaporación es bastante complicado. Para tener una estimación de la misma, se toma el valor de la presión a la entrada del compresor, leyendo el manómetro, la cual corresponde a la presión de evaporación y se traduce en temperatura de evaporación de acuerdo a las características del refrigerante utilizado.

A continuación, presentamos algunos valores de referencia:

Tabla 12 Correspondencia temperatura y presión de evaporación

Temperatura [°C]	Presión relativa [bar]			
	R22	R134A	R404A	R407c
- 30	0,64	0,08	1,07	1,36
- 20	1,43	0,31	2,05	1,79
- 18	1,62	0,43	2,30	2,02
- 16	1,83	0,56	2,56	2,25
- 14	2,05	0,69	2,82	2,50
- 12	2,28	0,84	3,09	2,77
- 10	2,52	0,99	3,39	3,05
- 8	2,78	1,15	3,69	3,34
- 6	3,05	1,33	4,01	3,65
- 4	3,33	1,51	4,36	3,98
- 2	3,63	1,71	4,63	4,32
0	3,95	1,91	5,09	4,68
2	4,28	2,13	5,59	5,06
4	4,63	2,36	5,89	5,46

En un circuito primario-secundario, la medición, en el circuito secundario, de la temperatura de agua con glicol, de salida y regreso, da indicaciones interesantes. En efecto, si la diferencia es inferior a 5°C, a potencia máxima del compresor, podemos deducir que el caudal de agua puede ser reducido, generando así ahorros.

7.3.2 Diferencia: temperatura de condensación y temperatura entrada de aire o agua

De la misma manera que para la evaporación, podemos deducir el nivel de incrustación del serpentín del condensador a partir de la medición de la temperatura de agua o aire a la entrada al condensador y de la presión del refrigerante a la salida del compresor.

A continuación, se relacionan, para diferentes refrigerantes, la temperatura y la presión de condensación. En ciertos manómetros, existe la doble lectura temperatura-presión del refrigerante.

Tabla 13 Correspondencia temperatura y presión de condensación

Temperatura [°C]	Presión relativa [bar]			
	R22	R134A	R404A	R407c
16	7,10	4,01	8,80	8,27
18	7,58	4,34	9,3	8,81
20	8,08	4,68	10	9,38
25	9,42	5,61	11,6	10,91
30	10,91	6,66	13,3	12,60
35	12,55	7,82	15,2	14,46
40	14,35	9,11	17,3	16,50
45	16,33	10,53	19,6	18,75
50	18,49	12,10	22	21,20
55	20,84	13,83	24,8	23,87
60	23,40	15,73		26,78
65	26,17	17,80		29,94

La diferencia entre la temperatura de condensación y la temperatura de entrada de aire a la entrada del condensador no debe exceder 12 a 15°C a plena carga. A cargas parciales, esta diferencia de temperatura debe disminuir proporcionalmente.

Si este rango está rebasado, podemos suponer incrustaciones al nivel del condensador y por lo tanto, la necesidad de un mantenimiento mayor.

7.3.3 Temperatura de salida compresor

Si la temperatura del refrigerante a la salida del compresor es alta, puede ser señal de que haya presencia de agua o aire en el circuito. Si medimos la presión a este momento del refrigerante debe corresponder a la temperatura del fluido. Si es más alta, demuestra que hay sedimentos afectando el rendimiento.

Para comprobarlo, realizar esta prueba: si el sistema está parado, el condensador debe alcanzar la temperatura ambiente (caso de los condensadores por aire).

7.3.4 Medición de niveles

Verifique los siguientes niveles:

- Nivel de refrigerante en el tanque de líquidos al nivel de los separadores de baja y mediana presión
- Nivel de aceite en el sistema de alimentación del compresor
- Nivel de agua en la charola de la torre de enfriamiento o del condensador evaporativo

Controle también la calidad del refrigerante en el dispositivo correspondiente. No debe haber burbujas. Si existen, señala una falta de refrigerante y probablemente una fuga en algún lado del circuito.

Figura 72 Mirilla indicadora de líquido



Controle finalmente la presencia de humedad en el circuito. Esta modifica el color del dispositivo “dry = seco”, “wet=húmedo”

Figura 73 Indicador de humedad



7.4 Caso de una cámara de Refrigeración

Cuando se trata de una cámara de refrigeración, cuarto frío, etc., solicite adicionalmente las dimensiones de las áreas a refrigerar, los diferentes productos almacenados, el tiempo de refrigeración y la temperatura de consigna de las cámaras.

7.4.1 Condiciones de funcionamiento

La relación tiempo – temperatura es primordial. Se trata de entregar el “frío” al momento indicado, a la temperatura correcta y por la duración adecuada.

En primer lugar, anote la temperatura de consigna de la cámara de refrigeración y compárela contra la temperatura recomendada de conservación o congelación, según los productos almacenados (ver Anexo 1). La temperatura de consigna debe ser la más alta posible.

Pregunte por la frecuencia de rotación de los productos almacenados. Una duración excesiva produce un sobreconsumo de energía. La duración de almacenamiento de reducirse lo más posible.

La frecuencia con la cual se llena la cámara también tiene una incidencia sobre el consumo energético. Cada vez que se abre la puerta, el calor del exterior entra al espacio refrigerado, así que, en la medida de lo posible, se deberá recomendar evitar abrir las puertas en las horas de mayor calor y humedad y agrupar las actividades de cargamento para limitar las aperturas y cierres constantes. La duración de cada cargamento también se puede reducir al optimizar la organización de los anaqueles y al etiquetarlos de manera visible.

7.4.2 Pérdidas de energía

Parece elemental que las cámaras de refrigeración no deben estar instaladas cerca de fuentes de calor o en una ubicación donde le dé la radiación solar.

Para reducir todas las fuentes de calor internas, valide que la distribución de los productos almacenados en la cámara sea lo más uniforme posible, sin obstaculizar la circulación de aire. En medida de lo posible, evitar el almacenaje de producto en contenedores cerrados que impidan el flujo de aire frío a través de él y evitar usar el sistema con una cámara vacía o con muy poco producto almacenado.

Las pérdidas de energía de una cámara de refrigeración provienen también de fuentes externas como las paredes, piso y techo y obviamente cuando se abre la puerta, existen pérdidas de “frío”.

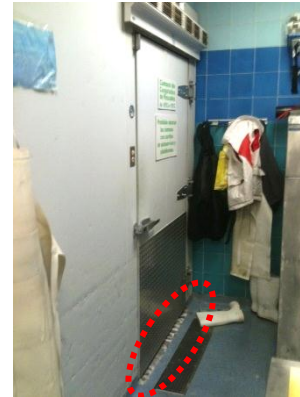
Evalúe las condiciones en las cuales se encuentran las paredes, pisos y techos, en particular si cuentan con un aislamiento adecuado. Cerciorarse de que la temperatura de la pared exterior de la cámara es cercana a la temperatura ambiente, si se siente muy fría, probablemente, el aislamiento no sea suficiente y se tendría que ampliar el espesor de pared.

Verifique el buen estado de los sellos de la puerta y de los accesos para evitar las entradas de calor (“fugas de frío”).

Figura 74 Sello en mal estado de la puerta de una cámara de refrigeración



Figura 75 Piso con escarcha (hielo) por el frío que escapa de la cámara



En caso de que se abra la puerta de la cámara por un tiempo prolongado con el fin de guardar productos, se recomienda instalar cortinas tipo persiana vertical (conocido como cortinas hawaianas).

Figura 76 Cortinas tipo hawaianas



7.4.3 Dimensionamiento

Una cámara de refrigeración sobre dimensionada en comparación a las cantidades de productos almacenados pierde todavía más energía: las paredes son más espesas, el compresor de una capacidad mayor, existen una mayor renovación de aire, etc.

Una cámara subdimensionada tiene por efecto un sobreconsumo de energía dado que obliga a tener una mayor rotación de productos almacenados y por consecuencia una mayor frecuencia de apertura de las puertas.

7.5 Caso de los muebles frigoríficos

De la misma manera que para las cámaras de refrigeración, solicite información acerca del tipo de productos almacenados, el tiempo de refrigeración y la temperatura a la cual operan los refrigeradores.

Las temperaturas de consignas deben ser las más altas posible, evitar que se ubiquen cerca de fuentes de calor (radiación solar, hornos, etc.). Se deben limitar las pérdidas internas también al organizar el almacenamiento de los productos y evitar las aperturas de las puertas.

Preguntar al personal si los muebles cuentan con algunos de estos dispositivos para limitar las pérdidas energéticas: cortina de aire, cortina o tapa para las noches si el mueble está abierto.

A continuación, presentamos unas temperaturas de referencias para validar el funcionamiento adecuado de los muebles frigoríficos.

Tabla 14 Relación de temperatura en muebles frigoríficos

Tipo de muebles frigoríficos	Temperatura interna de consigna del mueble frigorífico [°C]	Temperatura del evaporador [°C]
Frío positivo	+6 / +8	-3 a -5
	+4 / +6	-4 a -10
	+2 / +4	-6 a -12
	0 / +2	-8 a -14
Frío negativo	-18 / -20	-30 a -35
	-23 / -25	-33 a -38

Sistemas de Refrigeración – Tutorial para el trabajo en campo
8. Formato de recopilación de datos

Compruebe el estado del compresor

Nivel de aceite del carter adecuado ?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	Comentarios _____ _____ _____ _____
Existen fugas de aceite	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
Presencia de ruido anormal?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
Presencia de vibración?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
Pregunte al personal si:			
Se ha incrementado el tiempo de funcionamiento?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
Se ha incrementado la frecuencia de arranques?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	_____

II.3. Condensador

Temperatura de aire o agua a la entrada (°C) _____

En el último año, se realizó la limpieza del serpentín? SI NO

Fecha: _____

Por aire

El equipo está ubicado en un lugar ventilado?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	Comentarios sobre estado _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____
Existe obstrucción del paso del aire?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
Las aletas del serpentín están en buen estado?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
Funciona adecuadamente el ventilador?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
Vibración excesiva o ruido anormal del ventilador?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
Se realizó mantenimiento al ventilador?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
El ventilador es de veolicidad variable?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<input type="checkbox"/> Por agua			
Se realiza el tratamiento de agua?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
En caso de que si, fecha del último?	_____		
Parametros en rangos adecuados?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
Funcionamiento con circuito cerrado?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	

Recuperación de calor: Existe necesidades de agua caliente? SI NO

En caso de si, a que temperatura _____

En caso de si, son simultaneas al uso del sistema de refrigeración? SI NO

II.4. Evaporador

Temperatura de aire a la salida (°C) _____

En el último año, se realizó la limpieza del serpentín? SI NO

Fecha: _____

Existe obstrucción del paso del aire? SI NO

Las aletas del serpentín están en buen estado? SI NO

El serpentín tiene escarche o hielo? SI NO

Se realiza el proceso de deshielo? SI NO

Está automatizado este proceso? SI NO

En caso de que si; favor de indicar el sistema de regulación

Cantidad de proceso de deshielo por día _____

Comentar como se realiza el proceso de deshielo _____

Funciona adecuadamente el ventilador?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	Comentarios sobre estado _____ _____ _____ _____
Vibración excesiva o ruido anormal del ventilador?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
Se realizó mantenimiento al ventilador?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
El ventilador es de veolicidad variable?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	

9 MEDIDAS DE AHORRO DE ENERGÍA

Como hemos visto a lo largo de este documento, los sistemas de refrigeración son intensivos energéticamente, pueden llegar a representar más del 30 % del consumo energético total de una empresa, dado que operan generalmente 24 horas al día. Bajo esta premisa, los pequeños ahorros energéticos obtenidos del sistema pueden representar ahorros económicos significativos y rentabilizarse rápidamente.

Después de haber explicado el funcionamiento teórico, desde el punto de vista termodinámico, de los sistemas de refrigeración, la regulación de los mismos, las aplicaciones que se pueden encontrar así como la evaluación en campo de estos sistemas, podemos identificar las oportunidades de mejora de eficiencia energética asociadas:

1. Mejora del aislamiento
2. Disminución de las cargas térmicas
3. Disminución de los consumos energéticos
4. Optimización del proceso de deshielo
5. Mejora del ciclo de frío
6. Recuperación del calor residual al nivel del condensador
7. Gestión de set points y control
8. Mantenimiento adecuado de la instalación
9. Optimización del refrigerante

A continuación, se detalla cada una de estas oportunidades de mejora.

9.1 Mejora del aislamiento

Esta medida de ahorro de energía aplica en particular para las cámaras de refrigeración y consiste en incrementar el espesor del aislante de las paredes.

En una cámara de refrigeración, existen pérdidas de energía, en este caso de “frío”, a través de las paredes, piso y techo. Para compensar estas pérdidas, el sistema de refrigeración tiene que entregar un mayor trabajo y consumo en consecuencia más energía. Por lo tanto, el aislante integrado en las paredes y techo juega un papel fundamental para disminuir estas pérdidas.

En el caso de una cámara compacta, modulable o desmontable, se puede proponer incrementar el espesor del aislante para disminuir las pérdidas y se puede estimar los ahorros energéticos correspondientes.

El objetivo es realizar un cálculo estimativo para tener un orden de magnitud del ahorro esperado con esta medida. Para simplificar el cálculo, se considera las siguientes hipótesis:

- Las temperaturas exteriores e interiores son constantes durante todo el año
- Las paredes, el techo y el piso contienen el mismo aislante del mismo espesor

Adicionalmente, se requiere tener los siguientes datos para calcular los ahorros:

- Dimensiones de la cámara (largo, ancho y alto)
- Temperatura interior de la cámara y temperatura exterior. A partir de estos datos, se deduce la diferencia entre estas temperaturas (ΔT)
- Espesor inicial del aislante (e)
- COP global promedio del sistema (en caso de que no se tenga acceso a este dato, se considerará un valor de 2.5)
- La conductividad térmica (λ) del aislante (en caso de no conocer este valor, se tomará como referencia 0.028 W/mK)
- Costo promedio del kWh eléctrico

A partir del incremento del espesor del aislante (Δe) que se instalaría, se puede calcular la nueva energía eléctrica (obviamente menor) que deberá aportar el sistema para compensar las pérdidas (para mayor detalle sobre el cálculo, referirse a la herramienta de cálculo para refrigeración). La diferencia corresponde al ahorro energético obtenido. Al multiplicar por el costo promedio del kWh, obtenemos los ahorros económicos.

9.2 Disminución de las cargas térmicas

Los “enemigos energéticos” de los sistemas de refrigeración, cámaras de refrigeración y muebles frigoríficos, son las aportaciones térmicas internas y externas:

- Aportaciones internas como la iluminación de la cámara o del mueble, los ciclos de deshielo, el calor emanado del movimiento de los ventiladores
- Aportaciones externas que vienen de las pérdidas por inducción, radiación, convección al momento de la apertura de la puerta

9.2.1 Disminución de las aportaciones internas

9.2.1.1 Iluminación

La iluminación representa una carga térmica interna dado que emite calor. Así que reducir las cargas de iluminación es un doble ahorro energético: se reduce el consumo eléctrico del sistema de iluminación y se reduce el consumo del sistema de refrigeración que tiene que compensar el calor emitido.

Ahorros adicionales pueden conseguirse mediante la instalación de controles de iluminación que apagan las luces cuando no se utilizan.

En total, el ahorro alcanzado por reducir la carga del sistema de iluminación se estima en 10% en relación al consumo del sistema de refrigeración.

9.2.1.2 Cordón caliente

El cordón caliente que generalmente está ubicado en los muebles frigoríficos representa una aportación de calor del orden del 1%.

9.2.2 Disminución de las aportaciones externas

9.2.2.1 Radiación solar

Es necesario reubicar los muebles frigoríficos expuestos bajo los rayos del sol, dado que la radiación solar tiende a deteriorar los productos almacenados y a calentar el ambiente alrededor.

9.2.2.2 Ubicación cerca de otros equipos

9.2.2.2.1 Equipos emisores de calor

En el caso particular de una tienda o de un restaurante, es importante colocar los refrigeradores o muebles frigoríficos lejos de cualquier fuente de calor como son los hornos, asador o equipos de sonido, TV (por ser equipos eléctricos, emiten calor como el sistema de iluminación).

9.2.2.2.3 Equipos similares

En el caso de que exista más de un mueble frigorífico, es favorable colocar los equipos de refrigeración uno con otro para disminuir la superficie de contacto con el ambiente y reducir los consumos energéticos.

9.2.2.3 Disminución de la frecuencia de apertura y cierre de puertas

Cada vez que se abre la puerta de la cámara de refrigeración, se escapa el “frío” del espacio refrigerado y entra “calor” del ambiente fuera de la cámara.

Disminuir las veces que se abren y cierran las puertas tiene un impacto en el consumo del sistema de refrigeración. Para lograrlo, se puede colocar unos carteles que recuerden que las puertas deben cerrarse siempre o bien invertir en un sensor que avise cuando las puertas se quedan abiertas.

Es una medida fácil de implantar para la cual se puede estimar los ahorros obtenidos, al calcular la cantidad de energía que entra por la apertura de la puerta en función de las dimensiones de la cámara, de las dimensiones de las puertas, de la cantidad y duración de las aperturas de las puertas y de las condiciones (humedad y temperatura) interiores y exteriores. Al multiplicar por el costo promedio del kWh, obtenemos los ahorros económicos. Para mayor detalle sobre el cálculo, referirse a la herramienta de cálculo para refrigeración.

Tomar en cuenta que este método de cálculo puede ser aproximado en la medida que no se conozca con exactitud la frecuencia y duración de apertura de puertas por ejemplo... se debe tomar como una estimación para evaluar la magnitud del ahorro y no su valor con certeza.

9.3 Disminución de los consumos energéticos

9.3.1 Caso de los muebles frigoríficos

En las aplicaciones comerciales, la libre apertura de los muebles frigoríficos por parte de los clientes es un argumento de venta comercial aunque constituye un abismo energético.

9.3.1.1 Cierre de los muebles

En el caso de los muebles frigoríficos abiertos de las pequeñas tiendas comerciales, una medida de ahorro drástica es el cierre del mueble con una vitrina en plexiglás. Esta medida permite conseguir ahorros de hasta 30% cuando el almacenamiento es de productos congelados.

9.3.1.2 Utilización de protecciones

Generalmente, los muebles frigoríficos abiertos están equipados de una cortina de aire cuya función es aislar el ambiente “frío” de los productos almacenados. Sin embargo, acaba por ser su punto débil, debido a que esta cortina de aire representa el 66% de la potencia frigorífica requerida.

A continuación, presentamos un resumen de los tipos de protecciones que podemos encontrar para los muebles frigoríficos abiertos así como una estimación de los ahorros energéticos alcanzados con su uso.

Tabla 15 Protecciones disponibles para muebles frigoríficos

Tipo de mueble	Tipo de aplicación	Durante el día	Durante la noche	Reducción estimada de los consumos energéticos
Horizontal	Negativa (congelación)	Cortina de aire	Cortina de noche	8 à 15 %
			Tapa simple	15 à 30 %
			Tapa aislada	25 à 45 %
Vertical	Positiva	Cortina de aire	Cortina de noche	12 à 30 %
			Puerta	-
	Negativa	Puerta	Puerta	25 à 30 %

9.3.2 Comparativo de la potencia frigorífica instalada

Una instalación sobredimensionada genera pérdidas adicionales así que se recomienda que la capacidad del sistema se apegue lo más posible a las necesidades frigoríficas de las aplicaciones.

Se facilitan unas referencias de potencias unitarias instaladas según el tipo de aplicación, las cuales se pueden comparar contra el valor de potencia indicado en las placas de los equipos y/o del compresor:

- Cámara de refrigeración: entre 60 y 90 W/m³ del cuarto, según el tipo de aplicación: refrigeración o congelación

- Mueble frigorífico para refrigeración: entre 200 y 1300 W por metro lineal de mueble.
- Mueble frigorífico para refrigeración: entre 400 y 2100 W por metro lineal de mueble.

9.3.3 Sustitución de equipos

Cuando el sistema de refrigeración ha llegado al término de su vida útil (del orden de los 10 años), una buena medida de ahorro de energía es sustituir algunos equipos o el sistema de refrigeración completo por unos de tecnologías más recientes.

Existen ventiladores de alta eficiencia para el evaporador y condensador que necesitan menos energía para operar y generan menos calor, por lo que reducen la carga a refrigerar. El ahorro potencial de energía con la sustitución de este equipo se estima entre el 3 y 15 %.

También hay sistemas de compresión de alta eficiencia que permiten ahorros entre el 6 y el 16 %, dependiendo del equipo de refrigeración empleado.

Tal y como se indicó en la sección 2.3, se puede aumentar la presión del refrigerante líquido antes de entrar a la válvula de expansión (por medio de una pequeña bomba de refrigeración situada después del condensador). Este aumento de presión proporciona un sub-enfriamiento del refrigerante y mejora la eficiencia del sistema. Los ahorros esperados son del orden del 20%.

9.4 Optimización del proceso de deshielo

En la sección 6.5, se explicó las consecuencias de la escarcha que se produce en las paredes de las cámaras frigoríficas, congeladores, etc. así como el proceso de deshielo. En efecto, esta situación disminuye la transferencia de calor y aumenta considerablemente el consumo energético. Aproximadamente, 23% de la energía frigorífica requerida al nivel del evaporador sirve para compensar las aportaciones de calor derivadas del proceso de deshielo (considerando 2 operaciones de 30 min por día).

Dada esta situación, las cámaras o muebles frigoríficos deben contar con un sistema anti-escarcha automático. El personal de operación, aunque no efectúa directamente el proceso de deshielo, debe supervisar el funcionamiento adecuado de este sistema, asegurándose que la escarcha desapareció al final del proceso.

9.4.1 Ubicación del evaporador

Para lograr una mayor eficiencia y así limitar la frecuencia de los procesos de deshielo, el evaporador debe estar ubicado lo más lejos posible de las puertas donde llega a entrar aire caliente y húmedo.

Si no es el caso, es muy interesante valorar la posibilidad de reubicación del equipo.

9.4.2 Optimización de la técnica

El calentamiento del serpentín del evaporador puede llevarse a cabo de diferentes maneras:

- Por resistencias
- Por introducción de los gases expulsados por el compresor
- Por aspersion de la superficie externa del serpentín congelado con agua.
- Por circulación de aire en la cámara de refrigeración: recordemos que si la temperatura de la cámara frigorífica es superior a 2° o 3°C o en caso de aplicaciones positivas, el proceso de deshielo se puede llevar a cabo con la circulación forzada de aire del ventilador

Es conveniente analizar la técnica empleada actualmente y si es factible técnica y económicamente implementar otra que permitirá la reducción de la frecuencia y duración de este proceso.

Adicionalmente, se debe evaluar la presencia de la válvula electromagnética justo antes del evaporador que permite controlar el arranque del proceso y la utilización de la técnica de “shut-up” para limitar las aportaciones de calor.

9.4.3 Optimización de la regulación

La regulación del proceso de deshielo tiene también por objetivo disminuir en términos de frecuencia y duración este proceso. En la sección 6.5, se describió los diferentes tipos con sus respectivos inconvenientes, lo que sigue es evaluar los beneficios obtenidos en función de la inversión del sistema elegido:

- Reloj (poca regulación)
- Electrónico en base al análisis de la curva de subida de temperatura del evaporador para detectar la presencia de escarcha (regulación aceptable)

- Electrónico en base al control de la diferencia de temperatura ambiente y de la temperatura del evaporador (mayor regulación)

En caso de considerar la renovación del sistema completo, se debe pensar en incluir un sistema de regulación eficiente para mejorar el rendimiento. Al instalar un sistema de regulación, se pueden estimar ahorros entre el 1 y 6 %.

Como lo hemos dicho, todas estas medidas tienen por objetivo reducir la frecuencia y duración de los procesos de deshielo. La estimación de los ahorros energéticos correspondientes se puede hacer en función de esta optimización.

A partir de las medidas de la cámara de refrigeración y de sus puertas, de las temperaturas y humedades interiores y del ambiente, de los horarios de uso de la cámara, de la frecuencia y duración de las aperturas y cierre de puerta así como de la cantidad de procesos de deshielo por día actualmente realizado, podemos calcular la energía eléctrica requerida para asegurar el proceso de deshielo y la energía frigorífica requerida para compensar las pérdidas generadas en la situación actual (se traduce en energía eléctrica conociendo el COP del sistema de refrigeración).

Al reducir la cantidad de operaciones de deshielo, realizamos el mismo cálculo y la diferencia entre estos valores indicará los ahorros energéticos esperados.

Este método de cálculo es aproximado dado que, en algunas ocasiones, no se conocen con exactitud la frecuencia y duración de apertura de puertas o la cantidad de procesos de deshielo realizados en un día... se debe tomar como una estimación para evaluar la magnitud del ahorro y no su valor con certeza.

9.5 Mejora del ciclo de frío

9.5.1 Mejora de la regulación de la potencia del compresor

En la sección 6.2 de este documento, se presentaron los diferentes tipos de regulación de la potencia del compresor. La regulación ideal es por variador de velocidad (INVERTER). La inversión es más elevada pero los ahorros son más importantes así que el retorno de inversión es rápido.

Una segunda solución consiste en el paro de algunos de los cilindros de compresión, por medio de la instalación de una válvula solenoide. Es un método de regulación que se encuentra frecuentemente así que habrá que privilegiar cualquier de estos dos métodos.

La tercera vía de regulación recomendada radica en instalar varios pequeños compresores funcionando en cascada para “fraccionar” la potencia en diferentes niveles. En efecto, el arranque de un compresor de gran tamaño puede generar un pico de demanda eléctrica importante. Además, es una solución más económica que las anteriores y del punto de vista

energético adecuada. En efecto, una disminución del 25% de la potencia frigorífica del sistema solamente reduce en un 10% en promedio la potencia eléctrica absorbida por el compresor.

Adicionalmente, en la práctica, es importante limitar el funcionamiento del compresor a cargas parciales, es decir a bajo del 20% de su potencia nominal, dado que para estas cargas, el rendimiento del sistema de refrigeración es muy bajo.

Finalmente, la primera acción para buscar ahorros energéticos es eliminar la regulación por inyección de gases calientes, ver concepto en el apartado 6.3.2.2 dado que es un “abismo energético”.

9.5.2 Mejora del funcionamiento del condensador

9.5.2.1 Principio teórico

Bajar la temperatura de condensación equivale a bajar el nivel de presión a la salida del compresor. Esto resulta en una disminución del trabajo de este equipo y de la energía que consumida. En la práctica, se considera que bajar la temperatura de condensación de 1°C genera 3% de ahorros energéticos sobre el consumo eléctrico del compresor.

9.5.2.2 Reducir la temperatura del aire exterior

En la sección anterior, se explicó la importancia de la ubicación del condensador, en un lugar al aire libre, generalmente sobre el techo, y lo más fresco posible.

También es importante evitar un calentamiento local del aire. No conviene instalar el condensador sobre una superficie de color oscuro que atraerá el calor o bajo los rayos del sol. Si no se puede instalar en la sombra, se debe pensar en un sistema para darle sombra y así bajar la temperatura del aire ambiente.

9.5.2.3 Evitar la recirculación del aire aspirado

Si el condensador es instalado muy cerca de la pared, el aire expulsado por el ventilador centrífugo puede ser recirculado hacia la aspiración, así aire caliente y aire frío se mezclan, la temperatura de aspiración se incrementa y por consecuencia la temperatura de condensación.

9.5.2.4 Trabajar con un ventilador de velocidad variable o en cascada

La mayoría de los ventiladores funcionan en modo “todo o nada”. Si tomamos el ejemplo de un sistema de refrigeración con una consigna de mantener 12 bares mínimo en el condensador. El ventilador funcionará cuando la presión sube y se parará cuando la presión llegue a 12 bares. Esto provoca ciclos “on – off” rápidos y un desgaste adicional del motor. Adicionalmente, el arranque brusco del ventilador provoca una caída repentina de la presión y de la temperatura de condensación. A su vez, conlleva a un re-evaporación del líquido que se quedó a la misma temperatura. Estas burbujas de gas pueden llegar a distorsionar el funcionamiento adecuado de la válvula de expansión y del sistema en general (“flash gas”).

El uso de un ventilador con velocidad variable, sea por medio de un motor especial o la instalación de un variador de frecuencia externo, permite reducir el consumo eléctrico del ventilador pero también mejorar el funcionamiento del compresor que se regula.

Como para el caso de los compresores del párrafo anterior, una solución consiste en instalar varios ventiladores y hacerlos funcionar en cascada por medio de una presostato de varias etapas.

9.5.2.5 Trabajar con una válvula de expansión electrónica

Si la válvula de expansión termostática trabaja con temperaturas mínimas de condensación de 35°C, la válvula de expansión electrónica puede trabajar con temperaturas mínimas de condensación de 20°C y permite regular la temperatura de condensación en función de la carga del compresor.

La inversión inicial es más cara pero se recupera rápidamente (aproximadamente 2.5 años).

9.5.3 Instalar medidores en la instalación existente

9.5.3.1 Instalar un medidor horario

En los apartados anteriores, vimos que limitar la potencia del sistema a las necesidades a través de la regulación permitía generar ahorros. Para llevar a cabo esta regulación, es necesario conocer la potencia efectiva requerida a lo largo del año.

Al instalar un simple medidor horario en la alimentación eléctrica del compresor, podemos conocer el tiempo de funcionamiento del equipo y entonces la potencia media consumida. Cuidado si se trata de una instalación a funcionamiento discontinuo, en este caso, la potencia media puede ser engañosa dado que, a ciertos momentos, la potencia consumida será la máxima y luego cero. Esto pasa mucho en las instalaciones industriales.

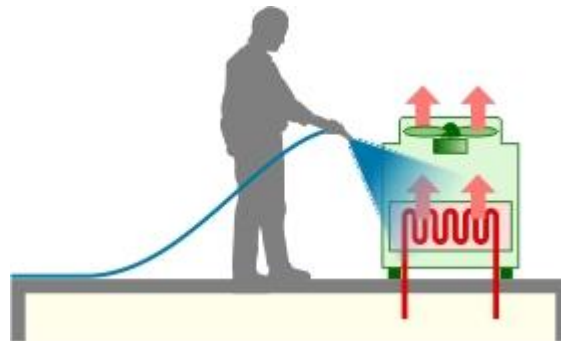
9.5.3.2 Medición del COP

En las grandes instalaciones, puede ser interesante instalar un medidor de agua helada y un medidor eléctrico en el compresor con el fin de medir en tiempo real el COP de la instalación y mejorar la regulación.

9.5.4 Recuperación de los condensados

Una práctica común realizada por los frigoristas consiste en rociar el serpentín del condensador con agua de la red, en periodo de calor.

Figura 77 Práctica común para "enfriar" el condensador



Fuente: www.energieplus.be

Esta técnica de enfriamiento es cara por el desgaste de agua que implica pero también, puede llegar a dañar las aletas del condensador por el sarro que se deposita (1 mm de sarro reduce la potencia de los condensadores de 10 a 20%)

Bajo el principio de los condensadores evaporativos, se analiza la posibilidad de recuperar los condensados provenientes del proceso de deshielo de los muebles frigoríficos, con el fin de vaporizarlos al nivel del condensador de aire. La ventaja es que el agua de estos condensados no es incrustante.

Actualmente, se envía al drenaje estos condensados sin embargo, la energía contenida en los mismos es interesante (agua a una temperatura un poco superior a 0°C) y podría servir a enfriar el condensador cuando las temperaturas exteriores rebasen los 24°C por ejemplo.

9.6 Recuperación del calor residual al nivel del condensador

Existe la tentación de querer recuperar el calor de condensación normalmente evacuado hacia el exterior. Sin embargo, debemos ser cuidadosos en la manera de recuperar este calor. Siempre, se debe recordar que una temperatura más baja de condensación mejora el rendimiento del compresor: “la disminución de 1°C corresponde a un ahorro de 3% del consumo eléctrico del compresor”.

Esto quiere decir que la recuperación de calor sobre el condensador para aplicaciones de temperaturas de 70-50°C provoca una disminución del rendimiento del compresor (el COP puede alcanzar un valor de 1).

Antes de evaluar la recuperación de calor, es necesario evaluar el impacto energético como las aportaciones externas e internas de energía, la falta de aislamiento, etc.

En resumen, la recuperación de calor sobre el condensador implica que:

- las necesidades de calor y frío sean simultáneas
- las necesidades de calor sean de baja temperatura, como por ejemplo el precalentamiento del agua.

Si estas dos condiciones se cumplen, esta recuperación debe ser estudiada por un especialista, que calculará el volumen del tanque de precalentamiento de agua requerido, el cual será conectado por medio de un intercambiador de calor al condensador del sistema de refrigeración.

Como nota aclaratoria: la recuperación de calor al nivel del enfriamiento del gas refrigerante entre el final de la compresión y el inicio de la condensación no tienen un gran impacto sobre la eficiencia del compresor. Además, la cantidad de calor disponible es muy inferior al calor que se puede recuperar al nivel de condensador.

9.7 Gestión de set points y control

9.7.1 Sistema de regulación numérica

Se trata de una gestión global del sistema de refrigeración que se viene a adicionar la propia regulación de los equipos frigoríficos. Permite:

- Monitorear de manera detallada el funcionamiento del sistema midiendo las presiones y temperaturas en el tiempo (históricos) y en cada elemento del circuito de refrigeración. Se monitorea por ejemplo la succión de filtros. Cuando los filtros de succión se tapan por remociones, aumenta la caída de presión de los mismos, lo que reduce la eficiencia del sistema.

- A distancia modificar las consignas, los horarios de funcionamiento, etc.
- Crear alarmas para poder actuar antes de que las consecuencias sean percibidas por el usuario
- Programar el funcionamiento del sistema para evitar el horario punta (peak shaving)
- Estimar el rendimiento, la energía eléctrica consumida, etc.

Requiere de una inversión alta, sin embargo, los ahorros energéticos que se pueden obtener vía una buena regulación son del 5% al 12%.

9.7.2 Ajuste de temperaturas

La mayor parte del consumo eléctrico del sistema de refrigeración proviene del consumo del compresor. Una vía de mejora para disminuir el trabajo del compresor y por lo tanto, mejorar su rendimiento volumétrico es actuar sobre la relación de compresión, es decir sobre la presión de evaporación (BP – baja presión de entrada del compresor) y la presión de condensación (HP – alta presión de salida del compresor). Como estas presiones están termodinámicamente relacionadas con temperaturas, disminuir el trabajo del compresor implica disminuir la diferencia de temperatura en evaporador y condensador.

Así que se debe buscar incrementar la temperatura de evaporación y disminuir la temperatura de condensación.

9.7.2.1 Aumento de la temperatura de evaporación

Se debe intentar subir al máximo la temperatura de evaporación del sistema de refrigeración.

En aplicaciones de frío alimenticio, este incremento de temperatura de evaporación está limitado por las condiciones de conservación o congelación de los productos almacenados. En aplicaciones de frío industrial, este incremento también puede estar limitado por el proceso.

Como para la condensación, un incremento de 1°C en el evaporador corresponde a un ahorro de energía eléctrica de 3% al nivel del compresor.

9.7.2.2 Disminución de la temperatura de condensación

Como se ha indicado en el 9.5.2, para reducir el consumo eléctrico del compresor, se debe intentar disminuir la temperatura de condensación a través de las diferentes técnicas indicadas.

1°C de reducción de la temperatura implica un ahorro del 3% del consumo eléctrico del compresor.

9.7.2.3 Subenfriamiento

Medir la temperatura del líquido refrigerante a la entrada de la válvula de expansión, por medio de un termómetro laser. Compararla a la temperatura de condensación (ver apartado 7.3.2 para estimarla).

Excepto en caso de válvula de expansión tipo capilar, el subenfriamiento que es la diferencia entre la temperatura de condensación y la de líquido a la entrada de la válvula de expansión debe ser de 5 a 7°C. Aumentar el subenfriamiento (es decir incrementar el rango de evaporación mientras que el trabajo del compresor es constante) provoca un incremento de la potencia frigorífica y por lo tanto del rendimiento global.

Se estima que se incrementa el COP de 0.8% por cada grado de incremento del subenfriamiento para el R-22 y de 1% para el R-134a.

En caso de tener una diferencia menor a 5 o 7 °C, nos la indicación de que hace falta refrigerante en el sistema o bien que el condensador está incrustado.

En el caso de las válvulas de expansión capilar (pequeñas instalaciones), el subenfriamiento es más bajo.

9.7.2.4 Sobre calentamiento

Medir la temperatura de aspiración del gas refrigerante a la entrada del compresor.

La diferencia entre la temperatura de evaporación (ver apartado 7.3.1 para estimarla) y la temperatura de aspiración corresponde al sobre calentamiento.

Para una válvula de expansión termostática, esta diferencia debe ser del orden de 6 a 8°C mientras que para las válvulas de expansión electrónicas, esta diferencia es de 3°C.

Reducir el sobre calentamiento permitiría un incremento de la potencia frigorífica, sin embargo, ya vimos que un sobre calentamiento demasiado bajo puede ocasionar golpes de líquido al compresor y un sobre calentamiento demasiado alto provoca un desgaste prematuro del compresor.

9.8 Mantenimiento adecuado del sistema

Como lo hemos descrito en la sección anterior 7., la realización de un buen servicio de mantenimiento preventivo permite mantener las condiciones óptimas de funcionamiento del sistema y por lo tanto, su rendimiento.

9.8.1 Condensador

9.8.1.1 Condensador por aire o aerorefrigeradores

En los condensadores enfriados por aire, el principal problema es la limpieza del serpentín, generalmente no existe un filtro anti-polvo.

Así que se debe retirar frecuentemente los residuos para evitar la disminución del caudal de aire y en consecuencia del intercambio de calor. Se puede limpiar el serpentín con un compresor de aire o de agua, cuidando no doblar las aletas.

Se debe también proteger el equipo contra la corrosión.

9.8.1.2 Condensador por agua

En los condensadores por agua, el tratamiento de agua del condensador evaporativo o torre de enfriamiento, es fundamental para evitar las incrustaciones, depósitos de sarro, etc. los cuales disminuyen sensiblemente los intercambios de calor.

Si medimos el caudal de agua y las temperaturas de agua a la entrada y salida del condensador, podemos conocer la cantidad de energía intercambiada. A partir del valor de la temperatura de condensación, podemos deducir el coeficiente de intercambio térmico del condensador y compararlo contra el valor de placa. Si está muy por debajo, será la señal de que existen lodos o presencia de sarro en el serpentín, por lo cual será necesario prever una limpieza del mismo.

9.8.2 Evaporador

Ya lo hemos comentado, ningún elemento debe obstruir el paso del aire, debe poder circular por toda el área a refrigerar. Por lo cual se debe vigilar que no haya por ejemplo hielo (ver sección sobre el proceso de deshielo).

Las aletas del serpentín deben estar en buen estado sin estar doblada. El serpentín debe estar libre de corrosión en su superficie para evitar desgaste de los materiales y posibles fugas del gas refrigerante. Se debe realizar una limpieza interna del serpentín de manera regular.

9.8.3 Compresor

La revisión consiste en, como primera etapa, validar que el aspecto exterior del equipo, que no tenga gotas de condensación, señal de un aislamiento deteriorado, corrosión por fugas de agua o refrigerante.

Las vibraciones excesivas provocan un desgaste prematuro del compresor. Ubiquen de manera adecuada los resortes:

Figura 78 Resortes de compresor mal ubicados

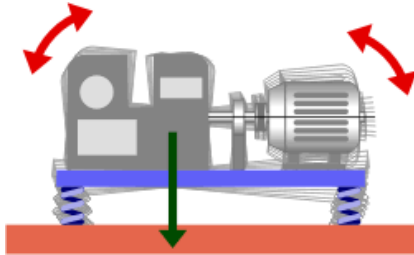
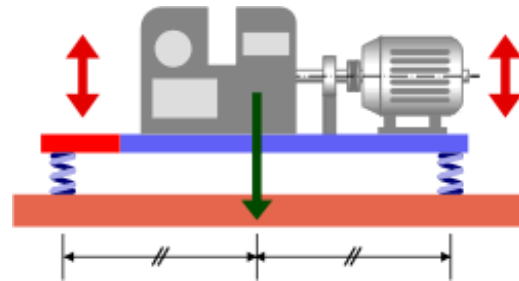


Figura 79 Resortes de compresor bien posicionados



Para evitar daños al compresor cuando esté en funcionamiento, el carter no debe estar frío, ni con señales de condensación o de congelamiento, debe tener aproximadamente la misma temperatura que el ambiente alrededor. Al paro del sistema, su temperatura debe ser de 40°C aproximadamente. En caso de que su temperatura sea muy baja, se debe revisar la instalación por un frigorista.

La rentabilidad energética de las intervenciones de mantenimiento no es sencilla de evaluar. Sin embargo, indicamos las estimaciones siguientes:

- Limpieza regular (por lo menos una vez por año) de los condensadores por aire y evaporadores directos: 10 a 30% de ahorro en el consumo eléctrico. 10 % en caso de poca incrustación, 30% si nunca se ha realizado esta limpieza
- Taponamiento de los filtros deshidratadores del circuito de refrigerante: sobre consumo de 10 a 15%

9.9 Optimización del refrigerante

Es importante sugerir que se monitoreen constantemente:

- Los niveles del refrigerante para detectar posibles fugas, las cuales afectan el rendimiento de la instalación y la capa de ozono.
- La contaminación del refrigerante por agua, aceite, etc. al medir el pH en la línea de líquido.

Finalmente, evalúe la conveniencia del cambio de refrigerante de acuerdo a lo indicado en la sección 3 del presente documento.

9.10 Resumen de ahorros

Se presenta en la tabla siguiente un resumen de los ahorros energéticos que se pueden conseguir con la implantación de las medidas de ahorro descritas en esta sección.

Tabla 16 Correspondencia temperatura y presión de condensación

Tipo de aplicación	Medida de ahorro de energía	Ahorros estimados
Todas	Ubicación adecuada de los equipos Radiación solar	Difícil de evaluar
Todas	Sustitución de equipos: compresores, ventiladores o instalación de variador de velocidades	De 3 a 15%
Todas	Incremento de temperatura de evaporación	3% por cada grado
Todas	Disminución de temperatura de evaporación	3% por cada grado
Todas	Instalación de un sistema de gestión	5 a 12%
Todas	Recuperación de calor al condensador	Según las aplicaciones
Todas	Limpieza de serpentines de evaporador y condensador	10 a 30%
Todas	Limpieza de filtros del circuito	10 a 15%
Cámaras de refrigeración	Mejora del aislamiento	(ver herramienta de cálculo)
Cámaras de refrigeración	Reducción de la frecuencia y duración de aperturas y cierre de puertas	(ver herramienta de cálculo)
Cámaras de refrigeración	Optimización del proceso de deshielo	(ver herramienta de cálculo)
Cámaras de refrigeración	Regulación del proceso de deshielo	1 a 6%
Cámaras de refrigeración y muebles frigoríficos	Disminución de cargas internas: iluminación	Hasta 10%
Muebles frigoríficos	Cierre de los muebles abiertos	Hasta 30%
Muebles frigoríficos	Uso de protecciones (día y noche)	De 8 a 45%

10 EJEMPLOS

10.1 Cálculo del COP

En la sección 2.4.2, se dio un ejemplo de cómo calcular el COP de un sistema a partir de los datos del catálogo de un fabricante:

A partir de los datos de placa, se puede encontrar en Internet, las características del equipo en el catálogo del fabricante en línea.



	Temperatura de condensación [°C]	Temperatura de evaporación [°C]									
		-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5
Potencia frigorífica [kW]	30	1,39	1,97	2,74	3,70	4,85	6,2	7,75	9,55	11,55	13,75
	40	1,06	1,57	2,25	3,1	4,15	5,35	6,75	8,35	10,15	12,15
	50	0,77	1,21	1,81	2,56	3,45	4,55	5,8	7,2	8,85	10,6
Potencia eléctrica [kW]	30	1,23	1,44	1,65	1,86	2,05	2,23	2,37	2,46	2,51	2,49
	40	1,19	1,43	1,69	1,95	2,2	2,43	2,64	2,82	2,95	3,02
	50	1,14	1,4	1,69	1,99	2,3	2,59	2,86	3,11	3,32	3,48

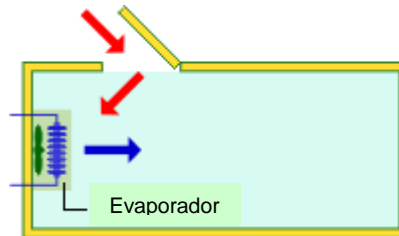
Fuente: <http://www.ecopeland.com>

A partir del catálogo y de las características del sistema (temperatura de evaporación de -10°C, refrigerante utilizado R-22), podemos calcular el COP.

Conceptos	Temperatura de condensación	
	30°C	40°C
Potencia frigorífica (kW) - A	7.75	6.75
Potencia eléctrica (kW) - B	2.37	2.64
COP (=A/B)	3.27	2.55

10.2 Optimización del proceso de deshielo

Una cámara frigorífica es instalada en una tienda de mayoreo de frutas y verduras, la ubicación del evaporador de la cámara frigorífica es la siguiente:



La puerta está abierta todo el día para permitir a los clientes comprar sus productos. Instalaron unas cortinas hawaianas para limitar las pérdidas frigoríficas.

La temperatura de evaporación siendo de -8°C , es necesario realizar procesos de deshielo. La cercanía de la puerta favorece las entradas de aire a una temperatura promedio de 20°C . Como este aire caliente es aspirado por el ventilador del evaporador, rápidamente aparece hielo en el serpentín.

Dadas estas condiciones, el proceso de deshielo arranca cada 2 horas mientras que, si el evaporador estuviera en otra ubicación, se llevaría a cabo solamente 3 o 4 procesos en un día.

La solución sugerida para disminuir los consumos de electricidad fue de parar el sistema de refrigeración cada 2 horas (tiempo para que se forme hielo) y dejar en funcionamiento los ventiladores del evaporador. De esta manera, en 10 min, el hielo desaparece gracias al “calor” de la temperatura ambiente.

10.3 Impacto de la apertura de la puerta de una cámara

Consideramos una cámara de refrigeración de las siguientes dimensiones: $L = 4\text{ m}$, $I = 4\text{ m}$, $h = 3\text{ m}$.

El aire exterior tiene una temperatura de 28°C y una humedad relativa HR de 80%.

El aire interior tiene una temperatura de -18°C y una humedad relativa HR de 50%.

Esta cámara se ocupa durante 12hrs al día.

En la situación inicial, la puerta se abre durante 30 segundos, 10 veces por hora. El correspondiente cálculo muestra que se consume 15.6 kWh eléctricos por día para realizar el proceso de deshielo requerido.

El consultor propone una mejor organización de las actividades de carga y descarga de esta cámara de tal manera que se reduce la frecuencia y la duración de apertura de la puerta de esta cámara a 5 veces cada hora durante 6 segundos. En este caso, la energía eléctrica requerida disminuye a 3.9 kWh/día. El ahorro es de 11.7 kWh/día.

Adicionalmente, también existe un ahorro energético al tener que enfriar y secar una cantidad mucho menor de aire en la cámara de refrigeración (equivalente a 6.2 volúmenes cada 24hrs contra 61 volúmenes en la situación de referencia). A partir de las características del aire interior y exterior, se puede calcular la energía térmica requerida para enfriar y secar el aire exterior en:

- La situación inicial: 109.6 kWh/ día
- La situación futura: 11 kWh/día.
- Ahorro energético: 98.6 kWh

El ahorro total es la suma del ahorro correspondiente al proceso de deshielo (en este ejemplo, consideramos que la cantidad de operaciones sigue siendo la misma) y el ahorro correspondiente al tratamiento de aire.

Ahorro energético total = 11.7 kWh + 98.6 kWh

Ahorro energético total = 110.3 kWh/día

Anexo 1: Condiciones de conservación

Las temperaturas de refrigeración requeridas dependen del producto por refrigerar, por lo que es importante obtener esta información antes de realizar diseños o evaluar la operación de los equipos de refrigeración.

Las condiciones de operación pueden incluir temperaturas máximas y mínimas tolerables, así como la humedad relativa en el espacio de refrigeración requerido, para evitar deshidratación y pérdida de peso del producto.

Las condiciones óptimas de almacenamiento dependen de la naturaleza de cada producto y también del tiempo que vaya a estar almacenado y de si el producto esta empacado o no. En general las condiciones necesarias para períodos cortos son menos estrictas que para períodos largos.

En la tabla abajo, se enlistan algunas temperaturas y humedades relativas con características para el almacenamiento y conservación de diversos productos.

Tabla 17 Características óptimas para la refrigeración de frutas y legumbres

PRODUCTO	TEMPERATURA °C	HUMEDAD RELATIVA %	DURACIÓN DE ALMACENAMIENTO
FRUTAS			
ALBARICOQUE	0 A -1	90	2 A 4 SEMANAS
CEREZA	0 A -1	90	4 SEMANAS MAX
CIRUELA	-0.5 A 1	90	2 A 8 SEMANAS
DATIL	0 A 2	70	4 A 8 SEMNANAS
FRESA	0	85 A 90	1 A 2 DIAS
GRANADA	1 A 2.5	90	2 A 4 MESES
HIGO (FRESCO)	0 A 1	90	7 A 10 DIAS
LIMA(SEGÚN VARIEDAD)	6 A 10	85 A 90	3 A 10 SEMANAS
LIMON VERDE	11 A 14.5	85 A 90	1 A 4 SEMANAS
MANDARINA	0 A 4.5	85 A 90	3 A 6 SEMANAS
MANZANA (SEGÚN VARIEDAD)	0 A 4	90	2 A 6 MESES
MELOCOTON	-1 A 1	85 A 90	1 A 4 SEMANAS
MELON	0 A 5	85 A 90	3 A 6 SEMANAS
MEMBRILLO	0 A 3	90	2 A 3 MESES
MORA	0	90	5 A 7 DIAS
NARANJA	0 A 4	85 A 90	2 A 4 MESES

NISPERO	0	90	10 A 20 DIAS
PERA (SEGÚN VARIEDAD)	-1 A 1	90	1 A 5 MESES
PLATANO	14	90	5 A 10 DIAS
SANDIA	2 A 4	85 A 90	2 A 3 SEMANAS
UVA	0 A -1	85 A 90	1 A 6 MESES
VERDURAS Y HORTALIZAS			
ACELGA	0	90 A 95	10 A 14 DIAS
AJO	0 A -1.5	70 A 75	6 A 8 MESES
CALABAZA	10 A 13	70 A 75	2 A 6 MESES
CEBOLLA	-3 A 0	70 A 75	6 MESES
COL	0	85 A 90	2 A 4 MESES
COL DE BRUSELAS	-1 A 0	90 A 95	3 A 6 SEMANAS
COLIFLOR	0	85 A 90	2 A 3 SEMANAS
CHAMPIGNON	0	85 A 90	5 DIAS
ESPARRAGO	-0.5 A 0	85 A 90	2 A 4 SEMANAS
ESPINACA	-0.5 A 0	90 A 95	10 A 14 DIAS
HABA	2	85 A 90	10 A 15 DIAS
CHICHARO	2 A 7	85 A 90	10 A 15 DIAS
LECHUGA	0	90 A 95	1 A 3 SEMANAS
NABO	0	90 A 95	4 A 5 MESES
PAPA TEMPRANA	3 A 4	85 A 90	2 A 8 SEMANAS
PAPA TARDIA (PARA CONSUMO)	4.5 A 10	85 A 90	4 A 8 MESES
PEPINO	11.5	85 A 90	5 A 8 MESES
PEREJIL	0 A 1	85 A 90	1 A 2 MESES
PIMIENTO	0	85 A 90	4 A 5 SEMANAS
RABANO	-0.5 A 0	90 A 95	10 A 14 DIAS
REMOLACHA	0	90 A 95	1 A 3 MESES
TOMATE VERDE	11.5 A 13	85 A 90	3 A 5 SEMANAS
TOMATE MADURO	0	85 A 90	1 A 3 SEMANAS
ZANAHORIA	-1 A 1	90 A 95	4 A 6 MESES

Pero, ¿qué sucede cuando se tienen varios productos perecederos con diferentes rangos recomendables de temperatura? Lo ideal es disponer de un refrigerador o cuarto frío para cada

tipo de producto o grupo que acepte las mismas condiciones de temperatura Si no es posible, se elige la temperatura de los más sensibles, como los lácteos. Sin embargo, el producto no podrá almacenarse por períodos largos y, en ocasiones, no se deben exceder de una semana en esas condiciones.

A continuación, se describen las condiciones de conservación y el espesor del aislamiento de la cámara de refrigeración que se recomiendan para diversos productos.

Tabla 18 Condiciones de conservación recomendadas para diversos productos

PRODUCTO	TEMPERATURA °C	HUMEDAD RELATIVA %	ESPESOR DE AISLAMIENTO POLIESTIRENO EXPANSIBLE CM
AGUACATE	9 A 3	85 A 90	7.5
CARNE	2 A 0	80 A 85	10
CARNE CONGELADA	-5 A -10	60 A 70	15
CEBOLLA	0	70 A 75	10
CERVEZA	1.5 A 1	90	10
CHOCOLATE	6 A 4		7.5
DURAZNO	1 A -1	85 A 90	10
FRESA	1 A -1	85 A 90	10
HELADO	-8 A -10		15
HIELO	-4 A -6		12.5
HUEVO	0.5	75 A 85	10
LECHE	6 A 2		7.5
LIMON	15 A 13		5
MANTEQUILLA	4 A 2	75 A 85	7.5
MANZANA	1 A -1	85 A90	10
PASTELERÍA	8 A 6		7.5
PESCADO	-8 A -10	80 A 90	15
PESCADO CONGELADO	-30	95	20
PIELES	2 A-2	90	10
PLÁTANO	16 A 11	85 A 90	5
QUESO	8 A 5	75	7.5
TOMATE	0	90	10
UVA	1 A -1	85 A 90	10

Anexo 2: Índice EER y SEER

El consumo de electricidad de un sistema de refrigeración depende de manera directa de su Relación de Eficiencia Energética (REE).

Los fabricantes y el personal que norma las especificaciones de eficiencia de los equipos han definido dos tipos de relación de eficiencia. La empleada comúnmente es la denominada “Relación de Eficiencia Energética Estacional” (SEER, del inglés *Seasonal Energy Efficiency Rating*) y representa la cantidad de calor retirado por el equipo y el consumo de electricidad a lo largo de un periodo establecido de tiempo (la época de verano definida por el fabricante). Corresponde, cercanamente, a la relación de eficiencia obtenida a 85°F de temperatura exterior.

Sin embargo, en algunas ocasiones, los fabricantes no indican la eficiencia estacional SEER, sino un valor de eficiencia llamado REE (EER por sus siglas en inglés: *Energy Efficiency Rating*), que se define como la relación entre la cantidad de calor retirado por el equipo de aire acondicionado y el consumo de electricidad, cuando la temperatura de aire exterior que entra al condensador es de 95°F, expresándose ambas, tanto SEER como REE, en kBTU/kWh, en los Estados Unidos, México, Centro y Sudamérica, o en w/w en los países europeos.

Para sistemas de refrigeración doméstica y comercial, éstos no representan únicamente la eficiencia energética del compresor, sino que también involucran la operación de todos los componentes de la unidad, es decir, los motores de los ventiladores, la transferencia de calor de los serpentines del evaporador y condensador, la operación de expansión, el tipo de refrigerante y los materiales utilizados.

Así, el REE indica que cuanto mayor sea el valor de la relación de la eficiencia energética de un equipo de refrigeración, la tecnología empleada será mejor y más moderna, siendo el principal objetivo la utilización del mínimo de energía eléctrica para realizar el trabajo de refrigerar un espacio.

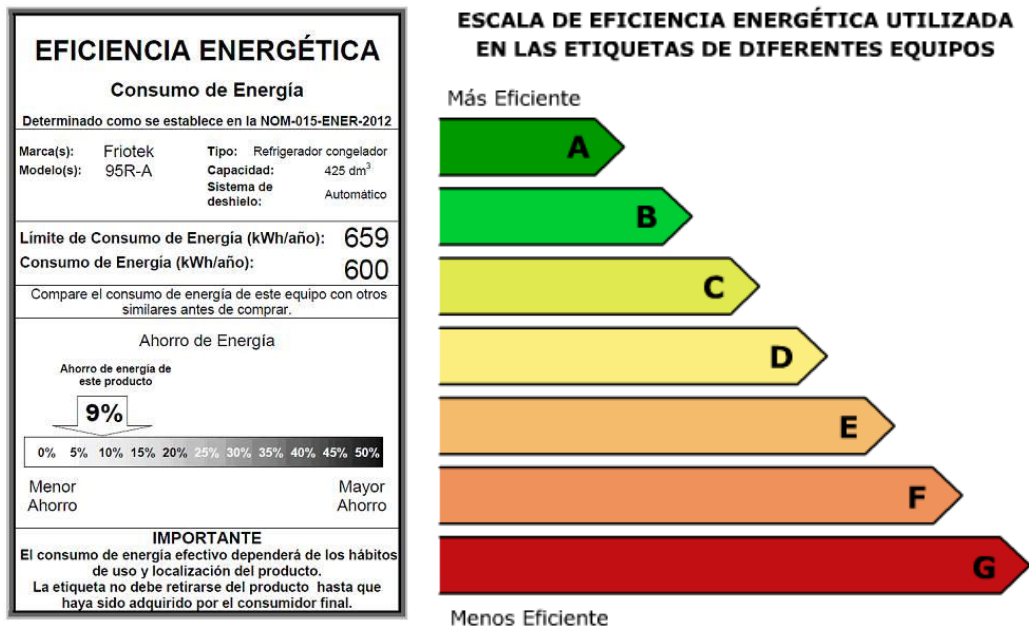
Por ejemplo, en México los equipos de refrigeración doméstica generalmente son del tipo convencional y con deshielo manual y utilizan espuma de poliuretano como material aislante con espesores de 1,25 a 1,75 pulgadas, con compresores de relación de eficiencia energética (REE) de 2,73 a 3,88. La tendencia de disminución de consumo en éstos está dirigida a la utilización de paredes rígidas de poliuretano, 25% más gruesas, así como compresores recíprocos (ya que no existen del tipo espiral para estas capacidades), con un REE de entre 4 kBTU/kWh y 6 kBTU/kWh., presentan mejoras en sellos y diseños de evaporadores y condensadores y nuevos sistemas de control de temperatura por zonas, con sistemas de distribución de aire interior de volumen variable.

En lo que respecta a los equipos de refrigeración comerciales se utilizan compresores scroll del tipo espiral, que se fabrican en capacidades de 1 a 60 HP y cuya tecnología permite modular la capacidad de compresión de un 10% a un 100%, suministrando un control de temperatura dentro de rangos de 0.5 °F, para coincidir exactamente con la carga de refrigeración real. Con

esto se incrementa hasta en un 30% su eficiencia energética, además de brindar ventajas adicionales, como un 70% menos de partes móviles con respecto a los compresores recíprocos, la capacidad de arranque bajo cualquier carga del sistema, tamaño compacto y ligero y diseño simple.

Por ello, los equipos de compresión antes de 1985 tenían REE alrededor de 4. Desde 1985, Estados Unidos fijó por ley un mínimo de 8,5 REE. En el 2000 se incrementó a 10 REE y el 22 de febrero del 2006 el nuevo valor fue 13, lo que se ha logrado y superado en las instalaciones de refrigeración comercial con la utilización de los compresores tipo espiral. Esto indica qué tan eficientes son los equipos según su año de fabricación y es un dato que se debe preguntar durante los diagnósticos energéticos.

Así mismo, se debe consultar la etiqueta de eficiencia energética del equipo para conocer los índices de consumo de energía eléctrica del equipo.



Sin embargo, el consumo de los equipos no sólo dependerá de sus eficiencias, sino también del tiempo que necesiten para enfriar las cargas de productos, versus aquellos que pasan sólo manteniendo la temperatura. Esto significa que un refrigerador o cuarto frío con un alto tráfico de producto que entra y sale continuamente consumirá más energía que uno que permanece cerrado o con tráfico limitado. También importa mucho si el producto entra muy caliente, ya que será mayor el tiempo requerido para alcanzar el valor deseado.

Anexo 3 Unidades

La capacidad de los equipos se expresa generalmente en **Toneladas de Refrigeración (TR)**. Es la unidad nominal de potencia que se utiliza en América del Norte para referirse a la capacidad de enfriamiento de los equipos frigoríficos y de aire acondicionado.

La Tonelada de Refrigeración corresponde a la cantidad de calor latente (144 BTU's) absorbida por la fusión de una tonelada corta de hielo sólido puro (equivalente a 2000 libras) en 24 horas;

$$144 \text{ BTU's} \times 2000 \text{ libras}/24\text{h} = 12\,000 \text{ BTU/h}$$

1 TR equivale a una potencia capaz de extraer 12 000 BTUs por hora, lo que en el Sistema Internacional de Unidades (SI) equivale a 3517 W.

Tabla 19 Tabla de equivalencia de unidades

Concepto	Valor	Unidad	Equivalencia	Unidad
Potencia	1	TR	12000	BTUs /h
	1	TR	3.517	kW
	1	TR	3,023.95	kcal/h
	1	TR	3,516.85	J/s
	1	kW	3,412.14	BTUs /h
	1	kW	0.28	TR
	1	kW	859.85	kcal/h
	1	kW	1000	J/s
Energía	1	kWh	3600	kJ
	1	kWh	3412.14	BTU
	1	kWh	859.85	kcal
	1	kWh	0.03	termia
	1	kWh	0.28	TRh

Bibliografía

1. Energie+, Architecture et Climat, Faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale, d'urbanisme (LOCI), Université catholique de Louvain (Belgique), réalisé avec le soutien de la Wallonie - DGO4. Disponible sur: <http://www.energieplus-lesite.be> .
2. Manual de Eficiencia Energética para PYMES, Unidad de Capacitación y Asistencia Técnica en Eficiencia Energética y el Centro Nacional de Producción más Limpia de El Salvador
3. Guía ENERGY STAR® de eficiencia energética y oportunidades de reducción de costos para la industria de procesamiento de alimentos y vegetales (en inglés).
4. Eficiencia Energética en Sistemas de Refrigeración, Revista "Frío y Calor" N° 92 de la Cámara Chilena de Refrigeración y Climatización A.G., artículo redactado por Klaus Peter Schmid, INRA Refrigeración y Luis Hinojosa de Fundación Chile.
5. Módulo VI: Ahorro de energía eléctrica en sistemas de refrigeración, Curso – Taller promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrico, programa integral de “Asistencia Técnica y Capacitación para la formación de especialistas en Ahorro y Uso Eficiente de Energía Eléctrica de Guatemala, marzo 2010
6. Eficiencia Energética en sistemas de refrigeración, revista Cero grados Celsius, Antonio Nieto, febrero 2014

Páginas electrónicas:

<http://www.energieplus-lesite.be/>

<http://ucatee.cnpmi.org.sv/UCATEE/UCATEE/docs/ManualVersionElectronicaUCATEE.pdf>

<http://www.frioycalor.cl/92/tema1.htm>

[http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/006%20M%C3%B3dulo%20VI%20\(AEE%20Refrigeraci%C3%B3n\).pdf](http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/006%20M%C3%B3dulo%20VI%20(AEE%20Refrigeraci%C3%B3n).pdf)

<http://www.0grados.com/eficiencia-energetica-en-sistemas-de-refrigeracion/>

<http://curiosidades.batanga.com/>

<http://www.conuee.gob.mx>

http://es.wikipedia.org/wiki/Tonelada_de_refrigeraci%C3%B3n

<http://www.convertworld.com/es/potencia/>