

MANUAL BUENAS PRÁCTICAS EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y CLIMATIZACIÓN

FASE II
"PLAN DE GESTIÓN PARA LA ELIMINACIÓN DE HCFC EN CHILE" (HPMP)



ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL



Multilateral Fund
for the Implementation of the Montreal Protocol





ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL



Multilateral Fund
for the Implementation of the Montreal Protocol



MANUAL

**BUENAS PRÁCTICAS EN
SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN
Y CLIMATIZACIÓN**

FASE II
"PLAN DE GESTIÓN PARA LA ELIMINACIÓN DE HCFC EN CHILE" (HPMP)

MANUAL "BUENAS PRÁCTICAS EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y CLIMATIZACIÓN"

Proyecto Fase II "Plan de Gestión Para la Eliminación de los HCFC" (HPMP)

Financiamiento:

Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal

Agencia implementadora:

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI)

Coordinación técnica:

Unidad Ozono del Ministerio del Medio Ambiente de Chile

Redacción:

Germán P. Fuentes Durán

Revisión técnica:

Alberto Albert

Edición y revisión general:

Lorena Alarcón Reyes y Dolores González Puchi

Diseño y diagramación:

Oficina de Comunicaciones del Ministerio del Medio Ambiente

Fecha de publicación:

noviembre 2020

Esta publicación fue realizada en conjunto entre el Ministerio del Medio Ambiente de Chile, la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial ONUDI y el Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal

INDICE DE CONTENIDO

PRÓLOGOS

UNIDAD OZONO DEL MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE.....	9
ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL	10

INTRODUCCIÓN.....	12
-------------------	----

CAPÍTULO 1- TÉRMINOS Y DEFINICIONES	14
---	----

1.1. DEFINICIONES	15
-------------------------	----

1.2 TÉRMINOS ABREVIADOS.....	22
------------------------------	----

CAPÍTULO 2- LOS GASES REFRIGERANTES Y EL MEDIO AMBIENTE.....	23
--	----

2.1 CAPA DE OZONO.....	24
------------------------	----

2.2 CALENTAMIENTO GLOBAL	24
--------------------------------	----

2.3 ENMIENDA DE KIGALI	25
------------------------------	----

CAPÍTULO 3- CLASIFICACIÓN	26
---------------------------------	----

3.1 CLASIFICACIÓN DE REFRIGERANTES	27
--	----

3.1.1 DENOMINACIÓN	27
--------------------------	----

3.1.2 CLASIFICACIÓN POR GRUPOS DE SEGURIDAD	27
---	----

3.1.3 TEMPERATURA DE EBULLICIÓN	31
---------------------------------------	----

3.1.4 ORIGEN	31
--------------------	----

3.1.5 COMPORTAMIENTO EN EL CAMBIO DE FASE	32
---	----

3.2 CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y CLIMATIZACIÓN.....	35
---	----

3.2.1 TIPO Y CANTIDAD DE REFRIGERANTE	35
---	----

3.2.2 TEMPERATURA DE EVAPORACIÓN.....	35
---------------------------------------	----

3.2.3 APLICACIÓN	36
------------------------	----

3.3 CLASIFICACIÓN DE USUARIOS	38
-------------------------------------	----

3.3.1 EMPRESAS COMERCIALIZADORAS.....	38
---------------------------------------	----

3.3.2 PRESTADORES TÉCNICOS DE SERVICIO	38
--	----

3.3.3 USUARIOS FINALES.....	39
-----------------------------	----

CAPÍTULO 4- SELECCIÓN DE REFRIGERANTES.....	40
---	----

4.1 IMPACTO TOTAL EQUIVALENTE DE CALENTAMIENTO (TEWI)	44
---	----

4.1.1 CÁLCULO DEL TEWI.....	44
-----------------------------	----

CAPÍTULO 5- MANIPULACIÓN Y GESTIÓN DE REFRIGERANTE.....	48
---	----

5.1 EXTRACCIÓN DEL REFRIGERANTE EN UN PROCESO DE MANTENCIÓN O AL FINAL DE LA VIDA ÚTIL DEL SISTEMA	50
--	----

5.2 CILINDROS REUTILIZABLES (RECUPERACIÓN)	51
--	----

5.3 REQUISITOS PARA LA REUTILIZACIÓN DEL REFRIGERANTE	52
---	----

5.3.1 RECUPERACIÓN DE REFRIGERANTE PARA SU REUTILIZACIÓN	52
--	----

5.3.2 RECICLAJE DE REFRIGERANTE.....	52
--------------------------------------	----

5.3.3 REGENERACIÓN.....	53
-------------------------	----

5.4 CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA MANIPULACIÓN DE CILINDROS REFRIGERANTES.....	55
--	----

5.5 REGISTRO DE MANIPULACIÓN	57
------------------------------------	----

CAPÍTULO 6- HERRAMIENTAS E INSTRUMENTOS (MEDIOS TÉCNICOS)	58
CAPÍTULO 7- PRESIÓN MÁXIMA ADMISIBLE (PMA).....	77
7.1 RELACIONES ENTRE LAS DIFERENTES PRESIONES CON LA PMA.....	80
CAPÍTULO 8- RECOMENDACIONES DE DISEÑO	81
8.1 REQUISITOS DE MATERIALES Y COMPONENTES.....	82
8.2 CARGA TÉRMICA.....	82
8.3 CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.....	85
8.4 COMPRESORES.....	86
8.4.1 PROTECCIÓN DE COMPRESORES.....	87
8.5 EVAPORADORES	89
8.6 CONDENSADORES.....	90
8.7 DISPOSITIVOS DE EXPANSIÓN	91
8.8 DEPÓSITOS DE LÍQUIDO	93
8.9 DIÁMETROS DE TUBERÍAS	93
8.10 TENDIDO DE TUBERÍAS	94
8.11 CANTIDAD DE REFRIGERANTE	94
8.12 AISLAMIENTO TÉRMICO	95
8.13 DESCONGELAMIENTO	95
8.14 ALARMAS	96
8.15 CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE FUERZA Y CONTROL.....	96
8.16 DISPOSITIVOS PARA EL ALIVIO DE PRESIÓN	97
8.17 DETECTORES DE REFRIGERANTE	99
8.18 CÁMARAS FRIGORÍFICAS Y SALAS DE PROCESO	99
8.18.1 CÁMARAS FRIGORÍFICAS.....	100
8.18.2 SALAS DE PROCESO.....	101
8.19 SALAS DE MÁQUINA	102
CAPÍTULO 9- RECOMENDACIONES DE INSTALACIÓN	105
9.1 COMPRESORES	106
9.2 EVAPORADORES	107
9.3 CONDENSADORES.....	108
9.4 DISPOSITIVOS DE EXPANSIÓN	109
9.5 UNIONES	109
9.5.1 UNIONES NO DESMONTABLES.....	110
9.5.2 UNIONES DESMONTABLES.....	110
9.6 TENDIDOS DE TUBERÍAS	112
9.7 AISLAMIENTO TÉRMICO	114
9.8 VÁLVULAS DE CORTE.....	114
9.9 IDENTIFICACIÓN DE TUBERÍAS	115
9.10 CIRCUITO ELÉCTRICO DE FUERZA Y CONTROL	118
9.11 DISPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS DE SEGURIDAD	119
9.12 DETECTORES DE REFRIGERANTE.....	119
9.13 CÁMARAS FRIGORÍFICAS Y SALAS DE PROCESO	120

CAPÍTULO 10- ACCIONES PREVIAS A LA PUESTA EN MARCHA	121
10.1 PRUEBA DE RESISTENCIA A LA PRESIÓN Y HERMETICIDAD	122
10.1.1 RESISTENCIA A LA PRESIÓN.....	122
10.1.2 HERMETICIDAD.....	123
10.2 VACÍO	124
10.3 REVISIÓN DEL SISTEMA ANTES DE LA PUESTA EN MARCHA.....	125
CAPÍTULO 11- CARGA DE REFRIGERANTE	127
CAPÍTULO 12- PUESTA EN MARCHA.....	129
12.1 CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO.....	130
12.2 COMPROBACIÓN DE LA CAPACIDAD FRIGORÍFICA DEL SISTEMA.....	132
12.3 DISPOSITIVOS DE CONTROL Y SEGURIDAD	132
12.4 TENDIDO DE TUBERÍAS	133
12.5 DESCONGELAMIENTO	133
12.6 INFILTRACIONES DE AIRE	133
12.7 USO EFICIENTE DE ENERGÍA	134
12.8 ALARMAS	134
12.9 DOCUMENTACIÓN DE ENTREGA	134
CAPÍTULO 13- MANTENCIÓN DEL SISTEMA.....	136
13.1 MANTENCIÓN PREVENTIVA.....	137
13.1.1 CAMBIO DE ACEITE	138
13.1.2 AISLAMIENTO TÉRMICO.....	139
13.2 MANTENCIÓN CORRECTIVA	140
13.2.1 LIMPIEZA DEL SISTEMA (FLUSHING).....	141
CAPÍTULO 14- PROGRAMA DE REDUCCIÓN Y PREVENCIÓN DE FUGAS.....	142
14.1 DETECCIÓN DE FUGAS	144
14.1.1 PROCEDIMIENTO DIRECTO	144
14.1.2 PROCEDIMIENTO INDIRECTO.....	145
14.2 REPARACIÓN DE DEFICIENCIA, INFORME Y REGISTRO	145
CAPÍTULO 15- REQUISITOS PARA LA ELIMINACIÓN DE REFRIGERANTES Y COMPONENTES CONTAMINADOS AL FINAL DE LA VIDA ÚTIL DEL SISTEMA.....	146
CAPÍTULO 16- RESPONSABILIDADES DE PRESTADORES TÉCNICOS DE SERVICIO Y TITULARES DEL SISTEMA.....	148
16.1 PRESTADORES TÉCNICOS DE SERVICIO	149
16.1.1 RESPONSABILIDAD DEL TITULAR DE UN SISTEMA.....	150
CAPÍTULO 17- ANEXOS DE APLICACIÓN.....	151
17.1 MÉTODO PARA DETERMINAR EL LLENADO MÁXIMO DE CILINDROS DE RECUPERACIÓN	152
17.2 VALORES DE PRESIÓN RECOMENDADOS PARA PRUEBAS Y AJUSTES, EN FUNCIÓN DE LA PMA CON DISTINTOS REFRIGERANTES.....	152

17.3 SELECCIÓN DE TUBERÍAS.....	154
17.4 ENTENDIENDO LOS LÍMITES DE APLICACIÓN DE UN COMPRESOR	165
17.5 APLICACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD PARA PROTEGER EL COMPRESOR POR BAJAS Y ELEVADAS PRESIONES	168
17.6 AJUSTE DE PRESOSTATOS.....	169
17.7 COMPROBACIÓN DE ALARMAS.....	170
17.8 PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA UTILIZANDO NITRÓGENO, FILTROS ANTIÁCIDOS Y CAMBIOS DE ACEITE.....	171
17.9 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR TRIPLE VACÍO	175
17.10 AJUSTES DE PRESIÓN Y TEMPERATURA EN SISTEMAS QUE UTILIZAN MEZCLAS ZEOTRÓPICAS	176
CAPÍTULO 18- ANEXOS INFORMATIVOS	177
18.1 PELIGROS ASOCIADOS A LOS REFRIGERANTES	178
18.2 SOBRECALENTAMIENTO Y SUBENFRIAMIENTO.....	180
18.3 ¿POR QUÉ FALLAN LOS COMPRESORES?	184
18.3.1 RETORNO DE LÍQUIDO	185
18.3.2 SOBRECALENTAMIENTO ELEVADO	186
18.3.3 FALLA DE LUBRICACIÓN.....	187
18.3.4 MIGRACIÓN DE REFRIGERANTE.....	188
18.3.5 ALTAS TEMPERATURAS DE DESCARGA	189
18.3.6 PROBLEMAS ELÉCTRICOS.....	189
18.3.7 CONTAMINACIÓN.....	190
18.4 CONSIDERACIONES PARA SELECCIONAR UN REEMPLAZO DE UN COMPRESOR HERMÉTICO ALTERNATIVO MONOFÁSICO DE POTENCIA FRACCIONARIA DAÑADO	194
18.5 DESIGNACIÓN DE LOS REFRIGERANTES PUROS, MEZCLAS ZEOTRÓPICAS (SERIE 400) Y MEZCLAS AZEOTRÓPICAS (SERIE 500).....	195
CAPÍTULO 19- BIBLIOGRAFÍA.....	204

PRÓLOGO

UNIDAD OZONO DEL MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

La capa de ozono es el escudo protector del planeta que, a nivel de la estratósfera, evita el paso de la radiación ultravioleta dañina (UV-B) que proviene del sol, la cual tiene efectos negativos en las personas y el medio ambiente. Entre estos se encuentran el aumento de los riesgos de cáncer de piel, cataratas y debilita el sistema inmunológico; así también, puede disminuir el crecimiento de plantas, afectar a organismos unicelulares y sistemas acuáticos.

Existen sustancias que al ser liberadas a la atmósfera provocan un debilitamiento en la capa de ozono, y bajo esta problemática, es que Chile es parte del Protocolo de Montreal, uno de los acuerdos internacionales más exitosos, que tiene por objetivo reducir la producción y consumo de las sustancias que agotan la capa de ozono.

En el marco del Protocolo de Montreal, Chile se ha comprometido a reducir el consumo (importaciones) de los HCFC respecto de la línea base, en un 45% para el año 2020 y en un 65% en el año 2021. Situación que va de la mano con la implementación de la Fase II del "Plan de Gestión para la Eliminación de los HCFC en Chile" HPMP, ejecutado por la Unidad Ozono del Ministerio del Medio Ambiente con apoyo de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), como agencia implementadora.

Una de las sustancias que agota la capa de ozono es el HCFC-22 ó R-22, la que se continúa utilizando a nivel nacional como gas refrigerante en los sectores de refrigeración y climatización. En virtud de lo cual, es relevante tomar medidas para su buen manejo, considerando su futura eliminación y teniendo en cuenta la importancia de la cadena de frío en nuestro país. Medidas de buenas prácticas que también aplican a sus alternativas de alto impacto de calentamiento global, como son los HFC.

Por otro lado, entre las alternativas que tienen bajo o nulo impacto en el medio ambiente, se encuentran los hidrocarburos y los HFO, ambos en mayor o menor magnitud, refrigerantes inflamables. En consecuencia, es relevante aplicar las medidas adecuadas para su correcta utilización, considerando su potencial demanda y teniendo en cuenta la importancia del sector de refrigeración y climatización en Chile.

Este Manual es una herramienta que el HPMP, bajo su línea estratégica "Programa de apoyo al sector de refrigeración (servicios)", pone a disposición de las personas vinculadas al sector refrigeración y climatización, con el objetivo de fomentar y promover las buenas prácticas en el sector, y a su vez fortalecer las capacidades técnicas, contribuyendo al desarrollo sustentable del país.

Atentamente
Unidad Ozono
Ministerio del Medio Ambiente

PRÓLOGO

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL

Para promulgar el Desarrollo Industrial Inclusivo y Sostenible para (ISID) propuesto en el Objetivo de Desarrollo Sustentable (ODS) 9, la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) busca capturar los "nexos" positivos entre los factores multi-dependientes que definen los caminos actuales de desarrollo económico y ambiental y que facilitan sus interacciones positivas y sinergias a todos los niveles. Esto es lo que necesitamos para reconciliar las necesidades de expansión de la economía y de la prosperidad con la sostenibilidad de las generaciones futuras.

Desde una perspectiva ISID, al observar la relación de la industria con el medio ambiente, el problema fundamental a resolver es la desvinculación del crecimiento de la industria con el uso no sostenible de los recursos y su impacto negativo sobre el medio ambiente y el clima. Actualmente, la industria representa más de un tercio del consumo mundial de energía y de emisiones de gases de efecto invernadero y está destinada a impulsar el crecimiento de la demanda energética mundial en las próximas décadas. Esta acción es una prioridad conjunta para Chile y los países que han ratificado la Enmienda de Kigali, y las agencias Implementadores del Protocolo de Montreal, como la ONUDI, que proveen asistencia técnica.

Con el fin de lograr el desarrollo sostenible, las metas de Acuerdo de Paris y la Enmienda de Kigali, alcanzado los objetivos de mitigación del cambio climático establecidos por la comunidad internacional, el sector de la refrigeración tendrá que evitar fugas de las sustancias reguladas, optar por un reemplazo paulatino por sustancias con bajo poder de calentamiento global, y mejorar su eficiencia energética significativamente. Si bien el desafío es importante, existen políticas, tecnologías, mejores prácticas y otros instrumentos a los que los técnicos y usuarios, los responsables de las políticas públicas pueden recurrir a fin de encontrar apoyo y para poder poner en práctica esas metas. Lo que se necesita en forma inmediata en la realidad, y el mayor desafío, es difundir e implementar en todo el mundo las mejores tecnologías y prácticas de refrigeración disponibles, compartiendo conocimientos, creando capacidades, y fomentando cooperaciones.

El presente Manual pretende ser una contribución concreta en el sentido de estos esfuerzos de difusión en Chile de las buenas prácticas en refrigeración disponibles. Mediante la adopción de estas recomendaciones, este podrá contribuir a la mejor operación de un sistema de refrigeración, ayudando a sus clientes a una operación más eficiente, y protegiendo al planeta. Le deseo que su formación sea provechosa y esta manual una guía en sus actividades

Ole Nielsen
Jefe de la División de Protocolo de Montreal
ONUDI

Descargo de responsabilidad: este documento se ha elaborado sin una edición formal de las Naciones Unidas. Las designaciones empleadas y la presentación del material en este documento no implican la expresión de opinión alguna por parte de la Secretaría de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) sobre la condición jurídica de ningún país, territorio, ciudad o zona, o de sus autoridades, o respecto a la delimitación de sus fronteras o límites, o de su sistema económico o grado de desarrollo. Las designaciones como "desarrollado", "industrializado" y "en desarrollo" están destinadas a la conveniencia estadística y no necesariamente expresan un juicio sobre la etapa alcanzada por un país o área en particular en el proceso de desarrollo. La mención de nombres de empresas o productos comerciales no constituye un respaldo de la ONUDI.

Disclaimer: This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as "developed", "industrialized" and "developing" are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.



INTRODUCCIÓN

El **objetivo del presente manual** es entregar, mediante la aplicación de buenas prácticas y de acuerdo a la **Norma Chilena de Refrigeración NCh3241:2017**, recomendaciones para el diseño, armado, instalación y mantención de sistemas de refrigeración y climatización.

Un porcentaje no despreciable del refrigerante liberado a la atmósfera es resultado de diseños, instalaciones, puestas en servicio y/o mantenciones incorrectas o no ejecutadas. Esperamos que el presente manual contribuya significativamente a la construcción y fortalecimiento de capacidades técnicas en los distintos niveles de formación y ámbito laboral, mejorando la funcionalidad de los distintos sistemas, y minimizando el impacto en la capa de ozono y/o calentamiento global.

Mayor información sobre la Norma Chilena de Refrigeración NCh3241:2017 en el sitio web del INN, www.inn.cl
(enlace directo para su adquisición)
<https://ecommerce.inn.cl/nch3241201762524>

Objetivos y campo de aplicación

- Entregar recomendaciones para el diseño, armado, instalación y mantención de sistemas de refrigeración y climatización terminados en su lugar de emplazamiento.
- Complementar especificaciones técnicas realizadas por fabricantes para sistemas terminados en fábrica.
- El presente manual no se antepone a las especificaciones técnicas indicadas por fabricantes de componentes y sistemas. El prestador técnico de servicio y/o usuario final deben utilizar dicha información como base en los distintos procesos.
- El alcance se extiende a sistemas clasificados como Tipo I, II y III, según la Norma Chilena - NCh3241:2017

.....
CAPÍTULO **1**

TÉRMINOS Y DEFINICIONES



1.1. DEFINICIONES

- ① **Cámara frigorífica:**
Recinto cerrado dotado de puertas herméticas, mantenido por un sistema de refrigeración, destinado a la conservación de productos a una temperatura según requerimiento.
- ② **Carga de refrigerante:**
Cantidad de refrigerante correcta para un funcionamiento adecuado del sistema. En el caso de sistemas terminados en fábrica, dicha cantidad es especificada en una placa característica o información técnica. En sistemas terminados en su lugar de emplazamiento, debe ser estimada mediante cálculos iniciales y comprobada por la evaluación del sistema.
- ③ **Componentes frigoríficos:**
Componentes que constituyen un sistema de refrigeración (ejemplo: compresor, condensador, dispositivo de expansión, evaporador, etc.).
- ④ **Condensador:**
Intercambiador de calor donde el refrigerante en estado gaseoso se condensa por la liberación de calor.
- ⑤ **Detector de refrigerante:**
Dispositivo que según un método específico detecta la presencia de un refrigerante.
- ⑥ **Depósito de aceite:**
Recipiente destinado para almacenar del aceite separado del refrigerante por el o los separadores de aceite. Este aceite es después redistribuido al o los compresores, por medio de controladores de nivel de aceite mecánicos o electrónicos.
- ⑦ **Dispositivo de alivio de presión:**
Elemento diseñado para liberar automáticamente el exceso de presión de un sistema al exterior o a un sector de presión menor.
- ⑧ **Dispositivo de seccionamiento (válvula de corte):**
Dispositivo para abrir o cerrar el flujo de un fluido (ejemplo: refrigerante, salmuera, etc.).
- ⑨ **Dispositivo de seguridad limitador de presión:**
Dispositivo accionado por presión, diseñado para detener la operación del compresor o limitar su presión en el funcionamiento.

- ⑩ **Dispositivo limitador de la temperatura:**
Dispositivo accionado por temperatura, diseñado para evitar temperaturas que potencialmente puedan dañar al sistema y/o sus componentes.
- ⑪ **Eliminación de refrigerante:**
Entrega de refrigerante a un gestor de residuos autorizado (centro de regeneración) para su destinación final, bien por estar prohibido o por ser imposible su reutilización.
- ⑫ **Evaporador:**
Intercambiador de calor donde el refrigerante líquido se vaporiza por absorción de calor procedente del medio a enfriar.
- ⑬ **Formulación en el peor de los casos, en ingles WCF (worst case formulation):**
Composición que resulta de la aplicación de las tolerancias a la composición nominal resultando en la formulación más toxica o más inflamable.
- ⑭ **Formulación fraccionada en el peor de los casos, en ingles WCFF (worst case fractionated formulation):**
Composición producida durante el fraccionamiento de la formulación en el peor de los casos que da lugar a la formulación más toxica o más inflamable.
- ⑮ **Instalación frigorífica:**
Conjunto de varios sistemas de refrigeración y de todos sus elementos necesarios para su funcionamiento (ejemplo: cuadro y cableado eléctrico, circuitos de agua, etc.). Incluyendo los sistemas secundarios de enfriamiento y calentamiento.
- ⑯ **Intercambiador de calor:**
Componente para transferir calor entre dos fluidos sin que éstos entren en contacto directo.
- ⑰ **Límite de Exposición de toxicidad Aguda, en ingles ATEL (acute toxicity exposure limit):** Máxima concentración de refrigerante recomendada destinada a reducir los riesgos de una peligrosa intoxicación aguda de las personas en caso de fuga de refrigerante.
- ⑱ **Límite de exposición ocupacional, en inglés OEL (occupational exposure limit):**
Concentración promedio ponderada en el tiempo, para un día normal de trabajo de ocho horas y una semana de 40 horas, donde casi todos los trabajadores pueden ser expuestos repetidamente a una concentración de refrigerante determinada, sin efectos adversos.
- ⑲ **Límite práctico:**
Concentración utilizada para determinar de forma simplificada la cantidad máxima aceptable de refrigerantes en un espacio ocupado.

- 20 **Límite superior de inflamabilidad, en inglés UFL (Upper flammability limit):**
Concentración máxima de refrigerante que es capaz de propagar una llama en una mezcla homogénea de aire y refrigerante.
- 21 **Límite inferior de inflamabilidad, en inglés LFL (Lower flammability limit):**
Concentración mínima de refrigerante que es capaz de propagar una llama en una mezcla homogénea de aire y refrigerante.
- 22 **Limpieza del circuito frigorífico, en inglés Flushing:**
Procedimiento para la extracción de las sustancias indeseadas presentes en el interior de un sistema de refrigeración, las cuales producen una potencial falla a mediano - corto plazo (ejemplo: ácidos, humedad, partículas sólidas, etc.).
- 23 **Mezcla azeotrópica:**
Mezcla de fluidos refrigerantes (Familia 500 según ASHRAE 34) cuyas fases de vapor y líquido en equilibrio, poseen la misma composición a una presión determinada.
- 24 **Mezcla zeotrópica:**
Mezcla de fluidos refrigerantes (Familia 400 según ASHRAE 34) cuyas fases de vapor y líquido en equilibrio, poseen distinta composición a una presión determinada.
- 25 **Pérdida de carga:**
Disminución de presión entre dos puntos de referencia, que se produce debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las conduce.
- 26 **Potencial de agotamiento de la capa de ozono (PAO), en inglés ODP (ozone depletion potencial):**
Parámetro adimensional que mide el potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico de una sustancia química, en comparación con el impacto de una masa similar de CFC-11 (PAO=0).
- 27 **Potencial de calentamiento global (PCG), en inglés GWP (Global Warming Potential):**
Parámetro adimensional que mide el potencial de calentamiento global de toda sustancia liberada a la atmósfera, utilizando como referencia el CO₂ (PCG = 1). Cuando el tiempo de integración es de 100 años, se indica como PCG 100 años.
- 28 **Prestador técnico de servicio:**
Empresa o persona natural que realiza instalaciones y/o mantenencias para sistemas de refrigeración y climatización.

- 29 **Presión de diseño:**
Presión elegida para el cálculo de resistencia de cada componente. Se utiliza para determinar los materiales necesarios, grosor y la construcción de los componentes con respecto a su habilidad para soportar la presión.
- 30 **Presión máxima admisible (Pma):**
Presión máxima con que el sistema o componente está diseñado, especificada por el fabricante.
Nota: Presión límite de funcionamiento que no deberá sobrepasarse con el sistema funcionando o detenido.
- 31 **Presión para prueba de hermeticidad:**
Presión que se aplica para verificar que un sistema o parte del mismo es estanco.
- 32 **Presión para prueba de resistencia a la presión:**
Presión que se aplica para verificar que un sistema o parte del mismo no sufre roturas o deformaciones.
- 33 **Presostato con rearme manual:**
Dispositivo para desconexión, accionado por presión, y rearme manual (intervención externa).
- 34 **Procedimiento de vacío:**
Proceso donde se extrae la humedad y los gases no condensables del interior de un sistema de refrigeración, posterior a su instalación o mantención, y antes de realizar la carga de refrigerante.
- 35 **Puesta en marcha:**
Acción de poner en servicio un sistema.
- 36 **Reciclaje de refrigerante:**
Procedimiento básico de reducción de contaminantes existentes en un refrigerante, así como filtrado y deshidratación, efectuado usualmente en el lugar de emplazamiento del sistema, mediante equipos adecuados. El objetivo del proceso es la reutilización del refrigerante en el mismo sistema o en otro similar.
- 37 **Recipiente de líquido:**
Recipiente conectado permanentemente al sistema mediante tuberías de entrada y salida, utilizado para acumulación de refrigerante líquido.
- 38 **Recuperación de refrigerante:**
Acción de extraer el refrigerante de un sistema en cualquier condición y almacenarlo en un cilindro de recuperación.

- 39 **Refrigerante primario (fluido frigorígeno):**
Fluido utilizado en la transmisión de calor que, es un sistema de refrigeración, absorbe calor a bajas temperaturas y presión, cediéndolo a temperatura y presión más elevada. Estos procesos se realizan, mediante el cambio de fase del fluido.
- 40 **Refrigerante secundario (fluido frigorífero):**
Sustancia intermedia (ejemplo: agua, salmuera, etc.) utilizada para transportar calor entre el circuito frigorífico (circuito primario) y el medio a enfriar o calentar. Estos procesos se realizan, mediante la variación de temperatura del fluido.
- 41 **Refrigerante natural:**
Refrigerante formado por compuestos químicos que se encuentran en la naturaleza (ejemplo: propano, amoníaco y dióxido de carbono).
- 42 **Refrigerante puro:**
Refrigerante de compuesto único (no es mezcla) que mantiene su temperatura constante en el cambio de fase, a una presión determinada.
- 43 **Refrigerante sintético:**
Refrigerante fabricado con base en diversos compuestos químicos, que no se encuentran en la naturaleza (ejemplo: CFC, HCFC, HFC, HFO, etc.)
- 44 **Regeneración de refrigerante:**
Tratamiento destinado a reutilizar el refrigerante mediante procedimientos que pueden incluir filtrado, deshidratación, destilación y tratamiento químico, con el objetivo de cumplir con las especificaciones de un producto nuevo.
- 45 **Reutilización de refrigerante:**
Empleo de refrigerante (s) usado (s) en un sistema de refrigeración (el mismo y/u otro distinto) posterior a su recuperación (si aplica), reciclaje o regeneración (se debe asegurar que el refrigerante cumpla con la pureza adecuada).
- 46 **Sala de máquinas:**
Recinto o local no accesible al público en general, especialmente diseñado, por razones de seguridad y logística, para emplazar componentes del sistema de refrigeración, exceptuando evaporadores.
- 47 **Sala de proceso:**
Dependencias de trabajo donde tiene lugar un proceso (elaboración, transformación, manipulación o acondicionamiento de un producto), en condiciones de temperatura y/o humedad, determinadas por normas técnicas o reglamentos sanitarios.

- ④8 **Sector de alta presión:**
Parte del sistema de refrigeración que trabaja a una presión similar a la presión de condensación.
- ④9 **Sector de baja presión:**
Parte del sistema de refrigeración que trabaja a una presión similar a la presión de evaporación.
- ⑤0 **Separador de aceite:**
Recipiente instalado en el sector de alta presión del sistema, específicamente en la descarga del compresor o compresores, donde su objetivo es separar el aceite del refrigerante, retornando mediante un mecanismo específico, el aceite al compresor, compresores o depósito de aceite.
- ⑤1 **Separador de partículas de líquido:**
Recipiente instalado en el sector de baja presión del sistema, específicamente en la aspiración del compresor o compresores, donde su objetivo es protegerlos de retornos de líquido.
- ⑤2 **Sistema de detección de fugas de refrigerantes:**
Dispositivos electrónicos para la detección de refrigerantes, presentes en el ambiente, producto de una fuga o rotura en el sistema. Usualmente activa una alarma cuando la concentración de dicho refrigerante en el ambiente sobrepasa un valor determinado, y en algunos casos avisa automáticamente (mediante correo electrónico u otro medio) al prestador técnico de servicio mantenedor y/o al titular del sistema.
- ⑤3 **Sistema secundario de enfriamiento o calentamiento:**
Sistema que utiliza un refrigerante secundario (intermedio) para adsorber o liberar calor, a distintos puntos según necesidad.
- ⑤4 **Sistemas de refrigeración y climatización; sistema:**
Conjunto de componentes interconectados con tuberías, los cuales contienen refrigerante y constituyen un circuito frigorífico cerrado.
- ⑤5 **Sistemas terminados en fábrica:**
Sistemas de refrigeración, para los cuales, es necesario únicamente disponer de suministros para su funcionamiento (Ejemplo: energía eléctrica, agua, etc.). No requieren ser cargados con refrigerante en su lugar de emplazamiento (Ejemplo: refrigeradores domésticos, fabricadoras de hielo, aire acondicionado del tipo ventana, etc.).
- ⑤6 **Tendido de tuberías:**
Tuberías y cañerías (incluidas mangueras) para la interconexión de las diversas partes de un sistema de refrigeración.

- 57 **Titular del sistema:**
Persona natural o jurídica, propietaria o usuaria de un sistema.
- 58 **Toxicidad:**
Propiedad de una sustancia que la hace nociva o letal para personas y animales, debido a una exposición intensa o prolongada por contacto, inhalación o ingestión. No se considera nocivo todo malestar temporal que no perjudica a la salud.
- 59 **Unión abocardada:**
Unión metálica a presión, en la cual se realiza un ensanchamiento cónico en el extremo del tubo.
- 60 **Unión cónica roscada:**
Unión entre tuberías que no precisa de ningún material de sellado. Ejemplo: unión roscada de un aro de metal deformable por compresión.
- 61 **Unión embridada:**
Unión realizada atornillando entre si un par de terminación con brida.
- 62 **Unión por soldadura fuerte:**
Unión obtenida por ensamblado de partes metálicas mediante aporte de aleaciones que se funden a una temperatura superior o igual a 450 °C.
- 63 **Unión roscada:**
Unión de tubo roscado que requiere material de relleno con el fin de sellar los hilos de la rosca.
- 64 **Uniones por soldadura blanda:**
Unión obtenida por ensamblado de partes metálicas mediante mezcla de metales o aleaciones que se funden a una temperatura inferior a 450 °C e igual o superior a 220 °C.
- 65 **Válvula de alivio de presión:**
Válvula accionada por presión que se mantiene cerrada mediante un resorte u otros medios. Diseñada para liberar o evacuar el exceso de presión de forma automática, al abrir a una presión no superior a la máxima admisible y cerrar nuevamente, cuando la presión haya descendido por debajo del valor establecido.
- 66 **Válvula de tres vías:**
Válvula para comunicar o interrumpir total o parcialmente dos circuitos con un tercero. Si se utiliza conjuntamente con dos dispositivos de seguridad habilitará únicamente la conexión de uno de ellos con el circuito frigorífico a proteger y garantizará que en cualquier momento solo uno de los dispositivos quede fuera de servicio.

1.2 TÉRMINOS ABREVIADOS

ANSI: American National Standard Institute (Instituto Nacional Americano de Normalización)

ATEL: Acute Toxicity Exposure Limit (Límite de Exposición de Toxicidad Aguda)

ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado)

CFC: Clorofluorocarbono

COP: Coefficient Of Performance (coeficiente de rendimiento)

HCFC: Hidroclorofluorocarbono

HFC: Hidrofluorocarbono

HC: Hidrocarburo

HFO: Hidrofluoroolefina

HOC: Heat of Combustion (calor de combustión)

LFL: Lower flammability limit (Límite inferior de inflamabilidad)

PAO: Potencial de agotamiento de la capa de ozono

PCG: Potencial de calentamiento global

SAO: Sustancia agotadora de la capa de ozono

TLV: Threshold Limit Value (concentración máxima permisible)

TWA: Time- Weighted Average (concentración ponderada en el tiempo)

UFL: Upper flammability limit (Límite superior de inflamabilidad)

WCF: Worst Case Formulation (formulación el peor de los casos)

WCFF: Worst Case Fractionated Formulation (formulación fraccionada en el peor de los casos)

TEWI: Total Equivalent Warming Impact (impacto total equivalente de recalentamiento)

.....
CAPÍTULO 2

**LOS GASES
REFRIGERANTES Y EL
MEDIO AMBIENTE**



2.1 CAPA DE OZONO

La vida en la tierra se ha salvaguardado debido a una capa protectora compuesta de ozono (O₃). Esta actúa como un escudo para proteger la tierra contra la radiación ultravioleta dañina proveniente del sol, absorbiendo la mayor parte de la peligrosa radiación UV-B. De otro modo, aumentaría el riesgo de que altos niveles de radiación UV penetren en la tierra, lo que daría lugar a una mayor incidencia de cáncer de piel y cataratas oculares, afectaría los sistemas inmunológicos y tendría efectos negativos en las cuencas hidrográficas, tierras agrícolas y bosques.

Existen sustancias químicas artificiales, como los HCFC (hidroclorofluorocarbonos), usados principalmente como refrigerantes, que al ser emitidos a la atmósfera, son responsables de la disminución de la capa ozono. Por tanto, los sistemas de refrigeración y climatización que contienen HCFC como refrigerante contribuyen, en caso de fuga o liberación, a la destrucción de la capa de ozono.

El potencial de agotamiento de la capa de ozono (PAO) es un índice relativo, el cual indica el grado que una sustancia química puede aportar a la disminución de la capa ozono. El nivel de referencia es 1, perteneciente al PAO del R-11 (CFC-11).

2.2 CALENTAMIENTO GLOBAL

Cuando la radiación solar en forma de luz visible llega a la tierra, una parte es absorbida por la atmósfera, y otra parte es reflejada por las nubes y otras superficies, como desiertos y zonas nevadas. Mientras que la atmósfera es relativamente transparente a la radiación solar, la radiación infrarroja es absorbida en la atmósfera por una serie de gases presentes en pequeñas cantidades. Estos gases actúan como una manta, previniendo que gran parte de la radiación infrarroja escape directamente al espacio. Al retardar la liberación de la radiación infrarroja, estos gases generan un calentamiento en la superficie de la tierra, fenómeno conocido como efecto invernadero.

El Potencial del Calentamiento Global (PCG) es un índice que compara el efecto de calentamiento en el tiempo (100 años) de diferentes gases en relación al CO₂. Los refrigerantes HFC no contienen cloro, y de esta manera, no destruyen la capa de ozono, pero contribuyen significativamente al calentamiento global. Por esta razón, se encuentran en el grupo de los gases controlados por el Protocolo de Montreal (Enmienda de Kigali). Por ejemplo: un kilogramo de R-507A (refrigerante HFC) tiene aproximadamente el mismo efecto sobre la radiación como 3.990¹ kilogramos de CO₂.

.....
¹ Información tomada del 4º informe de evaluación del IPCC de 2007

Los sistemas de refrigeración y climatización contribuyen al calentamiento global tanto de forma directa (emisión de refrigerante por una fuga) e indirecta (gases de efecto invernadero liberados por la producción de energía utilizados por los mismos en su vida útil).

Las emisiones directas de los refrigerantes como gases de efecto invernadero pueden ocurrir durante su fabricación, uso (productos y procesos) o al final de su vida útil (o del sistema que los contiene). Por lo tanto, es necesario evaluar sus emisiones durante todo su ciclo de vida. Destacando que, en la actualidad, existe una gran cantidad de refrigerantes halogenados en banco, vale decir, contenidos en sistemas operativos. Es importante considerar que las potenciales emisiones de los bancos podrían contribuir significativamente al calentamiento global en el futuro.

2.3 ENMIENDA DE KIGALI

Con la entrada en vigor de la Enmienda de Kigali a partir del 1 de enero de 2019, que es la última Enmienda al Protocolo de Montreal, se da un paso importante en los esfuerzos para reducir drásticamente los gases de efecto invernadero y limitar el calentamiento global. Con su implementación, la Enmienda Kigali puede evitar hasta 0,4 °C de calentamiento global a fines de este siglo, mientras se continúa protegiendo la capa de ozono. En ese sentido, la enmienda contribuirá sustancialmente a los objetivos planteados en el Acuerdo de París.

La Enmienda contempla reducir la producción y consumo de HFC, refrigerantes alternativos a las SAO (CFC y HCFC), de acuerdo con el siguiente calendario:

Tabla 1
**Calendario para la
reducción de HFC en Chile**

Fuente: Elaboración propia en
base a Enmienda de Kigali

Cronograma para la reducción consumo (importaciones) de HFC sobre la línea base	
2020 - 2022 HFC + 65% LB HCFC	Línea base
A partir del 1 de enero de 2024	Congelación consumo al nivel de la línea base
A partir del 1 de enero de 2029	Reducción del 10%
A partir del 1 de enero de 2035	Reducción del 30%
A partir del 1 de enero de 2040	Reducción del 50%
A partir del 1 de enero de 2045	Reducción del 80%

CAPÍTULO 3

CLASIFICACIÓN



Las siguientes clasificaciones son contenidas en la Norma Chilena - NCh3241:2017, Sistemas de refrigeración y climatización - Buenas prácticas para el diseño, armado, instalación y mantención. Instituto Nacional de Normalización (INN).

3.1 CLASIFICACIÓN DE REFRIGERANTES

3.1.1 Denominación

Los refrigerantes se denominarán por su fórmula, por su denominación química o por su denominación simbólica alfanumérica, no siendo suficiente en ningún caso, su nombre comercial.

Los nombres químicos de los refrigerantes son generalmente largos y complejos. Con el objetivo de crear una forma sencilla para su designación, fue desarrollado un método de identificación por números y letras, basado en la clasificación del estándar ASHRAE 34, el cual fue posteriormente adoptada internacionalmente.

Las mezclas de refrigerantes son designadas en función de su comportamiento en el cambio de fase, serie 400 para mezclas zeotrópicas y 500 para mezclas azeotrópicas, siendo asignado un número completamente arbitrario. Adicionalmente al final de la numeración, es agregada una letra mayúscula para diferenciar mezclas con iguales componentes, pero con distintas proporciones.

La denominación para identificar los refrigerantes conformados por compuestos inorgánicos, se obtendrán añadiendo al número "700" los pesos moleculares de los compuestos. Ejemplo: R-717 (NH₃).

3.1.2 Clasificación por grupos de seguridad

Los refrigerantes pueden ser clasificados en función de su toxicidad e inflamabilidad. La caracterización consiste en una sigla alfanumérica, donde la letra corresponde a la toxicidad y el número a la inflamabilidad. En el caso de las mezclas de refrigerante (numeración 400 o 500), existe una doble clasificación, las cuales se expresan separadas por una barra oblicua "/". La primera está en función de las proporciones y tolerancias de los componentes que la conforman (ver [Tabla 22](#) y [Tabla 23](#)), considerando la formulación en el peor de los casos (WCF). La segunda y directamente relacionada con las temperaturas de saturación de sus componentes a similar presión, corresponde a la clasificación de la Formulación fraccionada en el peor de los casos (WCFF). Puesto que el fraccionamiento puede ocurrir como resultado de una fuga en el sistema de refrigeración, cuando se determine "el caso de fraccionamiento más desfavorable" se debe considerar la composición de la mezcla residual en el sistema y el de la fuga.

La clasificación por grupos de seguridad está basada en las características de los refrigerantes en altos grados de pureza, vale decir, no contaminados. Al considerar la posibilidad de contaminación o descomposición, hace impredecible sus efectos o comportamiento.

ADVERTENCIA:

En muy importante enfatizar, que los criterios de toxicidad utilizados en la siguiente clasificación pueden ser diferentes a los indicados en la legislación local vigente u otras instancias relacionadas con la seguridad de las personas.

3.1.2.1 Toxicidad

Las propiedades de toxicidad (aguda o crónica) de un refrigerante deben ser consideradas por los prestadores técnicos de servicios durante su manejo y gestión, pudiendo también afectar a los trabajadores de un recinto refrigerado u ocupantes de espacios climatizados.

El límite de exposición de toxicidad aguda (ATEL, por sus siglas en inglés) es la concentración máxima recomendada de refrigerante destinada a reducir los riesgos de toxicidad aguda para los seres humanos, en el caso de una fuga de refrigerante.

La toxicidad crónica se relaciona con la concentración promedio ponderada en el tiempo, para un día laboral normal de 8 horas y una semana laboral normal de 40 horas, donde los trabajadores pueden estar expuestos en forma repetida, sin sufrir efectos adversos. Con base en el TLV (concentración máxima permisible) y TWA (concentración ponderada en el tiempo).

- **Clase A (baja toxicidad):** Refrigerantes que con una concentración promedio ponderada en el tiempo, igual o mayor a 400 ppm (400 ml/m³), no generan algún efecto adverso, en la mayoría de los trabajadores, expuestos en jornadas laborales de 08 horas/día, 40 horas/semanales.
- **Clase B (alta toxicidad):** Refrigerantes que con una concentración promedio ponderada en el tiempo, menor a 400 ppm (400 ml/m³), no generan algún efecto adverso, en la mayoría de los trabajadores, expuestos en jornadas laborales de 08 horas/día, 40 horas/semanales.

3.1.2.2 Inflamabilidad

Esta propiedad influye directamente en las características constructivas de los sistemas y las especificaciones técnicas de los componentes que los constituyen. La inflamabilidad del refrigerante puede afectar la seguridad de las personas y bienes, durante la manipulación en actividades de mantenimiento y la gestión, como en el transporte.

La inflamabilidad de un refrigerante se determina en función al límite inferior de inflamabilidad (LFL), el cual corresponde a la concentración más baja de refrigerante que mezclado con aire (nivel de oxígeno normal), puede generar llama. La clasificación por inflamabilidad también considera el calor de combustión (HOC), correspondiente a la magnitud de energía liberada cuando se quema.

Algunos refrigerantes alternativos (que no dañan al medio ambiente) son inflamables en cierta medida y esto resulta en una limitación de la cantidad de refrigerante que puede ser utilizado en distintas locaciones, comparado con refrigerantes que no son inflamables.

Los refrigerantes que presentan baja inflamabilidad y velocidad de combustión, son clasificados como "2L" (ejemplo: R-1234yf, R-1234ze y R-32). Los cuales, siguiendo lineamientos de seguridad, podrían ser utilizados en sistemas emplazados en espacios interiores. Por otro lado, los refrigerantes con mayor inflamabilidad, clasificados como "3" (ejemplo: R-600a, R-290 y R-1270), la carga de refrigerante que puede contener un sistema es limitada (considerando circuitos frigoríficos individuales).

Para los refrigerantes clasificados como "3", la consecuencia práctica de limitar la carga de refrigerante produce un "techo de capacidad frigorífica" en los sistemas que los contienen. Los cuales deben contar con un diseño dedicado, de acuerdo con la propiedad del refrigerante (ejemplo: componentes eléctricos que no generan chispas y/o encapsulados).

- **Clase 1:** Refrigerante de un solo compuesto o una mezcla de refrigerantes en WCF y WCFE, que no presentan propagación de llama, cuando es probado en aire a 60 °C y 101,3 kPa
- **Clase 2L:** Refrigerante de un solo compuesto o una mezcla de refrigerante en WCF y WCFE que cumplan con las siguientes condiciones:
 - › Exhibe propagación de llama cuando es probado a 60 °C y 101,3 kPa
 - › Límite inferior de inflamabilidad (LFL) > 3,5 % por volumen
 - › Calor de combustión < 19.000 kJ/kg
 - › Velocidad máxima de combustión ≤ 10 cm/s, cuando es ensayado a 23°C y 101,3 kPa

- **Clase 2:** Refrigerante de un solo compuesto o una mezcla de refrigerante en WCF y WCFE que cumplan con las siguientes condiciones:
 - › Exhibe propagación de llama cuando es probado a 60 °C y 101,3 kPa.
 - › Límite inferior de inflamabilidad (LFL) > 3,5 % por volumen
 - › Calor de combustión < 19.000 kJ/kg
- **Clase 3:** Refrigerante de un solo compuesto o una mezcla de refrigerante en WCF y WCFE que cumplan con las siguientes condiciones:
 - › Exhibe propagación de llama cuando es probado a 60 °C y 101,3 kPa
 - › Límite inferior de inflamabilidad (LFL) ≤ 3,5 % por volumen; o un calor de combustión ≥ 19.000 kJ/kg

3.1.2.3 Grupos de seguridad

Los peligros asociados a los refrigerantes derivan de sus características físicas y químicas, así como de las presiones y temperaturas del sistema que los contiene. Independiente de la clasificación de toxicidad e inflamabilidad, existen potenciales riesgos relacionados, originados por causas tales como: aumento de presión, inflamabilidad, contacto con llama, desplazamiento de oxígeno, baja temperatura, e inhalación ([ver 18.1](#))

3.1.2.3.1 Matriz de clasificación

Grupos de Seguridad		
Toxicidad \ Inflamabilidad	Baja toxicidad	Alta toxicidad
Alta inflamabilidad	A3	B3
Inflamable	A2	B2
Baja inflamabilidad	A2L	B2L
No se propaga la llama	A1	B1

Tabla 2
Matriz de clasificación según toxicidad e inflamabilidad

Fuente: NCh3241:2017

NOTA:

En caso de las mezclas, se debe expresar la doble clasificación de seguridad, separada por una barra oblicua (ejemplo: A1/A1).

RECOMENDACIÓN:

Mayores antecedentes sobre la clasificación de refrigerantes, consultar: ISO 817:2014, Refrigerants – Designation and safety classification.

3.1.3 Temperatura de ebullición

- **Refrigerantes de baja presión:** Refrigerantes con una temperatura de ebullición mayor o igual que $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, a $101,3\text{ kPa}$. Ejemplo: R-123.
- **Refrigerantes de alta presión:** Refrigerantes con una temperatura de ebullición mayor o igual que $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$, y menor que $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, a $101,3\text{ kPa}$. Ejemplo: R-22, R-134a, R-404A, R-507A, R-401A.
- **Refrigerantes de muy alta presión:** Refrigerantes con una temperatura de ebullición menor que $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $101,3\text{ kPa}$. Considerar la sublimación en el caso del R-744.

3.1.4 Origen

Los refrigerantes se pueden clasificar en dos principales grupos según su origen:

- **Refrigerantes sintéticos:** son fabricados con compuestos químicos que no se encuentran en la naturaleza, tales como: R-12 (CFC-12), R-22 (HCFC-22), R-134a (HFC-134a), etc. Tienen moléculas estables que perduran en la atmósfera, generando un significativo impacto ambiental. Por otro lado, la mayoría de estos refrigerantes son clasificados como A1 y tienen buena compatibilidad con materiales y aceites.
- **Refrigerantes naturales:** existen en ciclos presentes de la naturaleza, incluso sin la interferencia humana. Ejemplo: R-744 (CO_2), R-717 (NH_3), Hidrocarburos como el R-290 (propano, C_3H_8). Tienen cero PAO y bajo o nulo PCG. Respecto a clasificación de seguridad, presentan propiedades de inflamabilidad (Hidrocarburos, NH_3), toxicidad (NH_3) o propiedades con algunas restricciones en su utilización (CO_2). Sin embargo, en la actualidad representan la principal alternativa a los refrigerantes sintéticos.

3.1.5 Comportamiento en el cambio de fase

3.1.5.1 Puros

Los refrigerantes puros (no mezclas) están constituidos por una única sustancia. Su principal característica es tener una temperatura constante en el cambio de fase a una presión determinada. Esta condición facilita el diseño y posterior evaluación de los sistemas que los contienen. Además, no existe la posibilidad de fraccionamiento en el caso de una fuga, ya que la composición de la fase líquida y vapor es idéntica.

3.1.5.2 Mezclas

Refrigerantes constituidos por dos o más sustancias. La mayoría de las mezclas disponibles comercialmente tienen entre dos y cinco componentes, éstos pueden ser: HCFC, HFC, HFO y/o HC. Generalmente, las mezclas no tienen propiedades similares a los refrigerantes que las componen (diferentes densidades, viscosidades, temperaturas de evaporación y de condensación, etc.).

En algunas mezclas los componentes individuales interactúan de tal manera, que la mezcla en fase de vapor y fase líquida tiene la misma composición a una presión determinada, estos refrigerantes se denominan **mezclas azeotrópicas** (serie 500). En otras mezclas, los componentes individuales interactúan de tal manera, que la mezcla no tiene la misma composición en fase de vapor y fase líquida, incluso depende si la mezcla se vaporiza o se condensa a presiones determinadas. Estos refrigerantes se denominan **mezclas zeotrópicas** (serie 400).

3.1.5.2.1 Mezclas azeotrópicas (serie 500)

Generalmente conformadas por dos sustancias, que se comportan como si fuera una sustancia pura. Al añadir o extraer calor de una mezcla azeotrópica de refrigerante, la composición (fracción molar) del vapor y el líquido permanecen esencialmente sin cambios a lo largo del proceso completo de cambio de fase. En otras palabras, por cada molécula de fluido A que se vaporiza o se condensa, una molécula de fluido B presenta similar comportamiento. Las mezclas azeotrópicas se comportan como un refrigerante puro en el cambio de fase, es decir, la temperatura se mantiene constante a una presión determinada. La Imagen 1, muestra el comportamiento de una mezcla azeotrópica en el cambio de fase.

Imagen 1
Condensación y
vaporización de
refrigerantes puros y
mezclas azeotrópicas.
Fuente: Elaboración propia

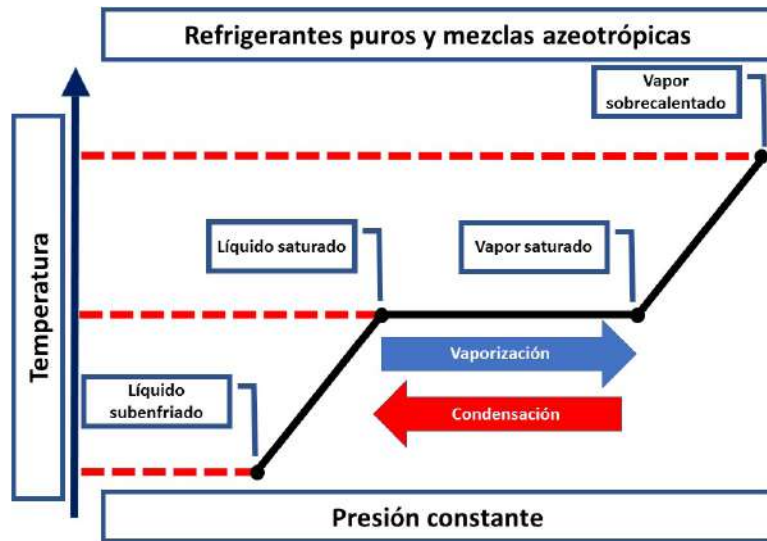


Imagen 2
Refrigerante mezcla
azeotrópica R-507A.
Fuente: www.dupont.com



3.1.5.2.2 Mezclas zeotrópicas (no azeotrópicas, serie 400)

Las mezclas zeotrópicas en mayor o menor magnitud presentan un deslizamiento térmico, que puede ser representado como la diferencia entre las temperaturas de saturación desde el comienzo hasta el final de un cambio de fase, a una presión constante. La condición de 100% líquido a una presión determinada es caracterizada como "**punto de burbuja**", por otro lado, la condición de 100% vapor a la misma presión, corresponde al "**punto de rocío**". El punto de burbuja siempre tiene una temperatura menor al punto de rocío.

El deslizamiento de temperatura depende de la presión, siendo mayor a menor presión. Por este motivo, para los fabricantes de refrigerante, el deslizamiento "**nominal**" es el que corresponde a la presión atmosférica.

El valor del deslizamiento de temperatura es una medida relativa de la **“calidad”** de la mezcla de refrigerantes. por lo cual, valores bajos del deslizamiento equivalen a componentes **“mejor mezclados”** (menor riesgo de fraccionamiento) y altos valores del deslizamiento a componentes que **“mezclan peor”**. Se debe considerar que las mezclas que presentan valores del deslizamiento inferiores a 1 K son caracterizadas como mezclas **“casi-azeotrópicas”**, presentando riesgos muy bajos (casi nulos) de fraccionamiento en caso de fugas, ya que su comportamiento es similar a una mezcla azeotrópica.

La Imagen 3 muestra el comportamiento de una mezcla zeotrópica en el cambio de estado a presión constante, graficando el concepto de deslizamiento térmico.

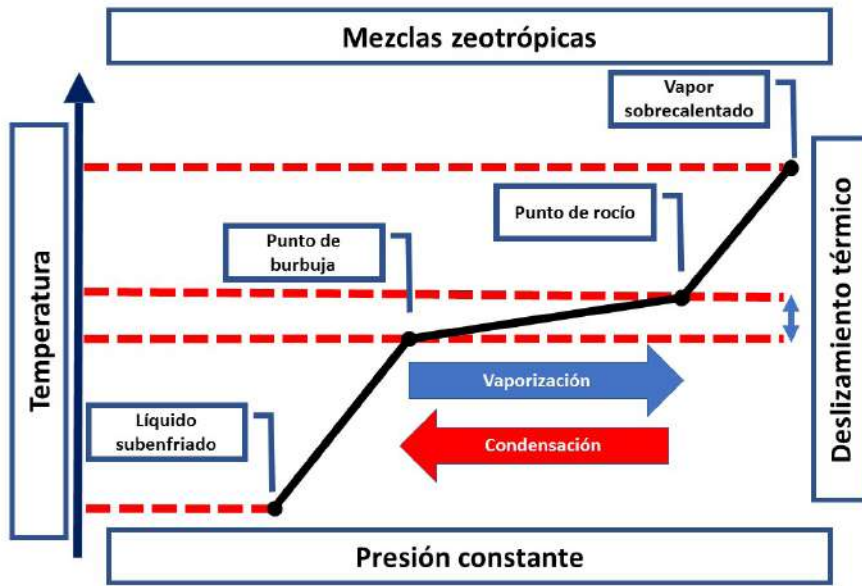


Imagen 3
Condensación y vaporización de una mezcla zeotrópica
 Fuente: Elaboración propia



Imagen 4
Refrigerante mezcla zeotrópica R-438A
 Fuente: www.chemours.com

NOTA:

Antes del Protocolo de Montreal, no era frecuente utilizar mezclas zeotrópicas. Sin embargo, en la búsqueda de alternativas a los CFC y HCFC, fueron desarrolladas en gran número. Algunas de las mezclas zeotrópicas con HFC y HC comunes para reemplazar refrigerantes CFC y HCFC son: R-413A, R-417A, R-422D y R-438A.

3.2 CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y CLIMATIZACIÓN

3.2.1 Tipo y cantidad de refrigerante

Tabla 3
Clasificación de sistemas según tipo y cantidad de refrigerante

Fuente: NCh3241:2017

CLASIFICACIÓN	CANTIDAD REFRIGERANTE	TIPO REFRIGERANTE	GRUPO SEGURIDAD
Tipo I	Igual o menor que 2 kg	Sintético de alta presión	A1
Tipo II	Mayor a 2 kg y menor o igual que 40 kg	Sintético de alta presión	A1
Tipo III	Mayor a 40 kg de refrigerante	Sintético de alta presión	A1
Tipo IV	Independiente de su cantidad	Sintético de baja presión	A1
Tipo V	Independiente de su cantidad	Sintético de muy alta presión	A1
Tipo VI	Independiente de su cantidad	Sintético de baja presión	B1
Tipo VII	Independiente de su cantidad	Natural de muy alta presión	A1
Tipo VIII	Independientes de su cantidad	Sintéticos o naturales, independientes de su presión	A2, A2L o A3
Tipo IX	Independientes de su cantidad	Sintéticos o naturales, independientes de su presión	B2, B2L o B3

3.2.2 Temperatura de evaporación

Tabla 4
Clasificación de sistemas según su temperatura de evaporación

Fuente: NCh3241:2017

CLASIFICACIÓN	TEMPERATURA DE EVAPORACIÓN
Alta temperatura	Mayor o igual a 0 °C y menor o igual que 13 °C
Media temperatura	Mayor o igual a -15°C y menor que 0°C
Baja temperatura	Mayor o igual a -40 °C y menor que -15 °C
Ultra baja temperatura	Menor a -40°C

3.2.3 Aplicación

3.2.3.1 Sistemas de refrigeración

CLASIFICACIÓN	APLICACIÓN
Doméstico	Utilizados generalmente en domicilios particulares, principalmente para mantener productos alimenticios, frescos y/o congelados.
Comercial	Utilizados en actividades comerciales de diferentes rubros, tales como: restaurantes, hoteles, supermercados, almacenes, minimarket, entre otros. Principalmente para mantener y/o elaborar productos alimenticios, frescos y congelados. Esta categoría incluye sistemas como: vitrinas, botelleros, máquinas de hielo, fabricadoras de helado, cámaras frigoríficas, centrales de compresores en paralelo, entre otros.
Industrial	Utilizados en procesos productivos de diferentes rubros, tales como: alimentos preparados, industrias químicas, agroindustrias, vinícolas, pesqueras, procesadoras de carnes y/o aves, entre otras. Estos sistemas son utilizados directamente en el proceso productivo, en la conservación del producto final y de la materia prima, a diferentes temperaturas según requerimiento. Esta categoría incluye sistemas como: túneles de enfriamiento, túneles de congelación, enfriadores de líquidos, entre otros. Nota: Únicamente para efectos de clasificación, esta categoría incluye a sistemas que utilizan R-717 (amoníaco) como refrigerante, en cualquiera de sus posibles configuraciones y aplicaciones.
Móvil (transporte)	Utilizados para conservar la cadena de frío en distintos productos, de acuerdo a necesidades específicas (fresco y congelados). Donde los sistemas son incorporados a variados medios de transportes (terrestres, marítimos y aéreos).

Tabla 5
Clasificación de sistemas de refrigeración según aplicación

Fuente: NCh3241:2017

3.2.3.2 Sistemas de climatización ²

Tabla 6
**Clasificación de sistemas
 de climatización según
 aplicación**

Fuente: NCh3241:2017

CLASIFICACIÓN	APLICACIÓN
Doméstico	Utilizados en domicilios particulares, proporcionando condiciones ambientales para el bienestar humano. Se incluyen sistemas de aire acondicionado del tipo ventana, divididos (de pared), portátiles, entre otros.
Comercial	Utilizados en centros comerciales, salas de ventas, salas de atención al público, instituciones financieras, oficinas públicas y privadas, proporcionando condiciones ambientales para el bienestar humano. Se incluyen sistemas de aire acondicionado del tipo divididos (en cualquiera de sus configuraciones), enfriadores de agua (chiller) y sus unidades terminales, compactos (rooftop), entre otros.
Industrial	Utilizados para generar condiciones climáticas específicas (incluye la humidificación y deshumidificación), según distintos requerimientos. Estos sistemas generalmente son utilizados en laboratorios, pabellones de cirugía, centros de datos, salas eléctricas y telecomunicaciones, y cualquier proceso industrial que requiera el control de temperatura y la humedad relativa del ambiente. Se incluye principalmente a sistemas de aire acondicionado de precisión, con distintas características constructivas.
Móvil (transporte)	Utilizados en medios de transportes terrestres, marítimos y aéreos, proporcionando condiciones ambientales para confort humano.

² Sistemas de aire acondicionado que utilizan como principio de funcionamiento, la compresión de vapor

3.3 CLASIFICACIÓN DE USUARIOS³

3.3.1 Empresas comercializadoras

Corresponden a importadores y/o distribuidores locales de refrigerante para usuarios finales o prestadores técnicos de servicio, los que, solo gestionan el refrigerante y no lo utilizan para ningún proceso adicional (ejemplo: mantención e instalación). Esta clasificación se efectúa de acuerdo con el criterio siguiente: **Sumatoria total de refrigerantes en kg, adquiridos por un RUT, en un periodo comprendido en un año calendario (1 enero a 31 diciembre), independiente del lugar de almacenamiento.**

CLASIFICACIÓN	CANTIDAD REFRIGERANTE ADQUIRIDO
Empresa comercializadora pequeña	Menor o igual a 13.000 kg
Empresa comercializadora mediana	Mayor a 13.000 kg y menor o igual a 26.000 kg
Empresa comercializadora grande	Mayor a 26.000 kg

Tabla 7
Clasificación de empresas comercializadoras según cantidad de refrigerante adquirido

Fuente: NCh3241:2017

3.3.2 Prestadores técnicos de servicio

Manipulan y gestionan el refrigerante con el objetivo principal de realizar procedimientos de mantención e instalación.

Esta clasificación se efectúa de acuerdo con el criterio siguiente: **Sumatoria total de refrigerantes en kg, incluyendo refrigerantes regenerados (si aplica), adquiridos por un RUT, en un periodo comprendido en un año calendario (1 enero a 31 diciembre), independiente del lugar de almacenamiento y utilización.**

CLASIFICACIÓN	CANTIDAD REFRIGERANTE ADQUIRIDO
Prestador técnico de servicio pequeño	Menor o igual que 350 kg
Prestador técnico de servicio mediano	Mayor a 350 kg y menor o igual a 1.000 kg
Prestador técnico de servicio grande	Mayor a 1.000 kg

Tabla 8
Clasificación de prestadores técnicos de servicio según cantidad de refrigerante adquirido

Fuente: NCh3241:2017

³ Para efectos de clasificación las siguientes categorías incluyen refrigerantes sintéticos y naturales, excepto el R-717.

3.3.3 Usuarios finales ⁴

Son titulares de sistemas, con distintas características constructivas, aplicaciones y utilizados en distintas instancias. La clasificación de los usuarios finales se efectúa de acuerdo con el siguiente criterio: **Sumatoria total de refrigerantes en kg, contenido en la totalidad de los distintos sistemas (refrigeración y climatización), pertenecientes a un RUT, independiente del lugar donde se encuentran emplazados.**

Tabla 9 :
**Clasificación de usuarios
 finales según cantidad de
 refrigerante que contienen
 sus sistemas**

CLASIFICACIÓN	CANTIDAD DE REFRIGERANTE QUE CONTIENE EL SISTEMA DEL USUARIO FINAL TITULAR
Usuario pequeño	Menor o igual que 100 kg
Usuario mediano	Mayor a 100 kg y menor o igual que 500 kg
Usuario grande	Mayor a 500 kg

Fuente: NCh3241:2017 :

⁴ En el caso de adquirir refrigerante directamente, además de la categoría "Usuario final", se asignará la categoría "Prestador técnico de servicio", respondiendo a todos los criterios indicados.

CAPÍTULO 4

SELECCIÓN DE REFRIGERANTES



Existen dos instancias que requieren la selección de un refrigerante: en el diseño de un sistema y en un procedimiento de servicio. En el diseño, el proceso de selección es complejo y demanda una serie de criterios técnicos, económicos e incluso las políticas a largo plazo de la compañía fabricante del sistema. Para realizar un procedimiento de servicio, ya sea la mantención o instalación, se debe priorizar la utilización del refrigerante para el cual el sistema fue diseñado originalmente.

El escenario actual referente a la eliminación de los refrigerantes HCFC y reducción de los HFC ([ver capítulo 2](#)), puede implicar alguna restricción en la utilización de algunos fluidos. En tal caso, es necesario aplicar un conjunto de criterios para seleccionar el refrigerante más adecuado, de acuerdo como mínimo a:

- **Efecto sobre el calentamiento global y la capa de ozono:** Utilizar refrigerantes con nulo PAO, menor PCG posible, bajo o nulo deslizamiento térmico y alto desempeño energético;
- **Grupo de seguridad:** Antes de conocer y cuantificar el impacto medioambiental de los refrigerantes CFC, HCFC y HFC, era usual la recomendación de utilizar refrigerantes no inflamables y de baja toxicidad (clasificación A1). Sin embargo, el impacto ambiental resultante de la liberación de refrigerantes sintéticos a la atmósfera (agotamiento de la capa de ozono y calentamiento global), han marcado una fuerte tendencia a la utilización de refrigerante naturales o sintéticos de bajo PCG, los cuales generalmente no son clasificados como A1. En el caso de requerir la utilización de un refrigerante con características mencionadas⁵, es de responsabilidad del prestador técnico de servicio solicitar al fabricante del sistema las directrices para su segura utilización;
- **Comportamiento termodinámico, acorde al diseño y características constructivas del sistema:** Las propiedades de un fluido definen sus características y comportamiento, ya sea en reposo o movimiento. En el caso de los refrigerantes, desde el punto de vista práctico, la presión y la temperatura tienen una mayor relevancia. Existen refrigerantes que, expuestos a elevadas relaciones de compresión, producen temperaturas de descarga excesivas en el compresor, perjudicando la calidad del aceite y/o favoreciendo reacciones químicas aceleradas en presencia de agua. Conjuntamente, es importante considerar la magnitud de las altas y bajas presiones de funcionamiento del sistema. Para una temperatura normal de evaporación, el refrigerante debe presentar (siempre que sea posible), presiones positivas, evitando de esta forma, en el caso de una fisura en el sector de baja

⁵ El presente manual no recomienda utilizar refrigerantes inflamables y/o tóxicos en sistema no diseñados originalmente para ser cargados con estos fluidos.

presión el ingreso de aire al sistema. Con respecto a la alta presión, el refrigerante no debe presentar magnitudes mayores a las máximas que soportan el sistema y/o materiales que lo conforman;

- **Gasto energético:** En una primera etapa la capacidad frigorífica de un sistema y su coeficiente de rendimiento son atribuibles a su diseño, componentes que lo conforman (compresor, intercambiadores de calor, tuberías, etc.) y a las propiedades del refrigerante. Para unas condiciones de funcionamiento determinadas (temperatura de evaporación, condensación, sobrecalentamiento y subenfriamiento) la capacidad frigorífica de un sistema está directamente influenciada por el calor latente de vaporización y la densidad del refrigerante en la aspiración del compresor;
- **Compatibilidad con los componentes y materiales que constituyen el sistema:** La estabilidad de un refrigerante es relacionada a su comportamiento en presencia de otras sustancias o condiciones desfavorables (ejemplo: alta temperatura de descarga). Es importante que el refrigerante no reaccione o actúe como un disolvente de los materiales que constituyen el sistema. Ejemplo: metales utilizados para tuberías (usualmente cobre), plásticos, sellos elastómeros en válvulas, desecantes de filtros y otros componentes como el aceite de compresor. Conjuntamente esta propiedad debe considerar una relación con bajas cantidades de contaminantes como el agua. En general los refrigerantes son compatibles con la mayoría de los materiales, ya que los sistemas que los contienen fueron diseñados considerando sus propiedades específicas. Sin embargo, existe la posibilidad que algún componente de un sistema haya sido fabricado usando mezclas y aditivos patentados, por lo que siempre existe una posibilidad de incompatibilidad con ciertos materiales al utilizar un refrigerante no especificado originalmente. En todos los casos, los fabricantes deben ser consultados para comprobar que los materiales utilizados en sus componentes son compatibles con un refrigerante diferente al original;
- **Cantidad a cargar en el sistema:** La carga máxima permitida del sistema debe considerar todos los potenciales riesgos de una liberación de refrigerante súbita en el lugar de emplazamiento, lo cuales están en función de:
 - › Toxicidad e inflamabilidad del refrigerante (grupo de seguridad)
 - › Tipo de ocupación, actividad, proceso productivo y lugar de emplazamiento del sistema

El prestador técnico de servicio debe evaluar cada caso en particular, respetando la legislación vigente, estableciendo medidas preventivas y correctivas en conjunto con el titular del sistema, lo cual incluye planificar procedimientos de mitigación en el caso de una emergencia.

- **Capacidad técnica para su utilización:** El prestador técnico de servicio en un procedimiento de mantención o instalación, debe contar con las competencias técnicas que permitan un manejo y gestión adecuado del refrigerante. La evaluación de un sistema, el diagnóstico de fallas o la carga de refrigerante posterior a la sustitución de un componente, deben ser ejecutadas correctamente, con el objetivo de no comprometer el procedimiento, lo cual puede resultar en un daño personal o al sistema intervenido. Considerar como mínimo:

- › Clasificación de seguridad
- › Deslizamiento térmico (mezcla zeotrópica)
- › Presiones de funcionamiento
- › Ciclos frigoríficos

NOTA:

La Norma Chilena NCh3301:2017 Sistemas de refrigeración y climatización que utilizan refrigerantes inflamables – Buenas prácticas para la instalación y mantención. No recomienda utilizar refrigerantes inflamables (Tipo 2L, 2 y 3) en sistemas no diseñados originalmente para estos fluidos.

- **Disponibilidad comercial futura:** Es importante considerar que la compra actual de un tipo de refrigerante no necesariamente significa que representara una política a largo plazo de la empresa comercializadora, existiendo la posibilidad de ser una importación puntual.

Imagen 5 :
Criterios para la selección
de refrigerantes

Fuente: Elaboración propia



4.1 IMPACTO TOTAL EQUIVALENTE DE CALENTAMIENTO (TEWI)

El impacto de un refrigerante en el medioambiente se debe a su liberación en la atmósfera (impacto directo) y al gasto energético (impacto indirecto) del sistema que los contiene.

El impacto directo se debe a la liberación del refrigerante producto de la hermeticidad defectuosa de un sistema (fuga) y/o una manipulación incorrecta de refrigerante (incluso intencional). La magnitud del impacto directo depende del PCG y la cantidad de refrigerante liberado.

Respecto al impacto indirecto, proviene del dióxido de carbono liberado al ambiente, derivado de la producción de energía eléctrica utilizada por el sistema para su funcionamiento a lo largo de su vida útil. Su magnitud depende de la matriz energética y de la eficiencia del sistema, esta última incluso es afectada por una carga de refrigerante deficiente (menor a la considerada en el diseño del sistema).

Se deben seleccionar refrigerantes con la mejor eficiencia energética. Para una eficiencia energética similar se deben utilizar refrigerantes con nulo PAO y PCG lo más bajo posible. Cuando sea necesario utilizar refrigerantes con PAO superior a cero y PCG superior a uno⁶, el sistema debe contener la menor carga de refrigerante posible para su correcto funcionamiento, considerando todas las medidas para la hermeticidad del sistema.

Al ser el calentamiento global el único impacto al medio ambiente (ejemplo: refrigerantes HFC), cuando el requisito de máxima eficiencia energética no se pueda cumplir en conjunto de una menor carga de refrigerante, se debe cuantificar el criterio prioritario mediante el análisis del impacto total equivalente de calentamiento TEWI.

4.1.1 Cálculo del TEWI

El TEWI es una forma de cuantificar el aporte al calentamiento global de los distintos sistemas, considerando su contribución directa e indirecta.

El TEWI es válido para comparar sistemas alternativos u opciones de refrigerantes para un mismo sistema, incluso incorporando el impacto de los gases de efecto invernadero utilizados para la fabricación del aislamiento térmico para ser implementado.

⁶ Considerar restricciones vigentes, referentes a la eliminación de los HCFC y reducción del consumo de los HFC

El factor TEWI se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{TEWI} = (\text{PCG} \times \text{Er} \times \text{Vu}) + (\text{PCG} \times \text{Cr} \times (1 - \text{Fr})) + (\text{Vu} \times \text{Cte} \times \text{Ed})$$

Donde:

- a) **PCG:** Potencial de calentamiento global del refrigerante
- b) **Er:** Emisiones de refrigerantes en kg/año
- c) **Vu:** Vida útil del sistema en años
- d) **Cr:** Carga de refrigerante del sistema en kg
- e) **Fr:** Factor de recuperación del refrigerante, valor comprendido de 0 a 1
- f) **Cte:** Consumo total de energía del sistema en kWh/año
- g) **Ed:** Emisiones de CO₂ en kg/kWh

Valores de PCG para cada refrigerante ver [Tabla 21](#), [Tabla 22](#) y [Tabla 23](#)

El factor de conversión “Ed” expresa la cantidad total de dióxido de carbono resultado de la producción de 1 kWh de energía eléctrica. El cual, varía considerablemente de acuerdo a la ubicación geográfica del sistema y de la matriz energética utilizada.

Cuando exista emisión de gases de efecto invernadero por causa del aislamiento térmico u otros componentes, se debe adicionar el PCG de dichos gases, extendiendo la fórmula de la siguiente manera:

$$\text{TEWI} = [(\text{PCG} \times \text{Er} \times \text{Vu}) + (\text{PCG} \times \text{Cr} \times (1 - \text{Fr})) + (\text{Vu} \times \text{Cte} \times \text{Ed})] + (\text{PCGat} \times \text{Cra} \times (1 - \text{Frat}))$$

Donde:

- a) **PCGat:** Potencial de calentamiento global del gas contenido en el aislamiento térmico
- b) **Cra:** Carga de gas contenida en el aislamiento térmico, en kg
- c) **Frat:** Factor de recuperación del gas contenido en el aislamiento térmico al final de la vida útil del sistema, valor comprendido de 0 a 1

Consideraciones para el cálculo del TEWI:

- Realizar el cálculo para un sistema específico, y no sólo de acuerdo al tipo de refrigerante;
- El cálculo varía de un sistema a otro, dependiendo de factores tales como: tiempo de funcionamiento, vida útil, factor de conversión y eficiencia;
- Para un sistema determinado, el uso más efectivo del TEWI se realiza determinando la importancia relativa del impacto directo e indirecto;
- Cuando el sistema, forma parte de un sistema de mayor tamaño (ejemplo: enfriador de agua utilizado para la climatización de un edificio), se debe considerar el consumo total de energía (incluyendo las pérdidas, distribución de aire, agua, etc.);
- Utilizar valores actualizados de PCG y dióxido de carbono emitido por la generación de 1 kWh de energía eléctrica;
- Este cálculo es de particular importancia en la etapa de diseño o selección de un sistema, además se debe considerar al momento de evaluar la conversión de refrigerante

NOTA:

No tienen validez comparar resultados entre diferentes sistemas con sus características en particular (aplicación, lugar de emplazamiento, perfil de uso, etc.).

¿Cómo se puede reducir el TEWI?

- Asegurando la funcionalidad y eficiencia del sistema;
- Minimizar la cantidad de refrigerante a cargar;
- Diseñar el sistema y seleccionar el refrigerante en función de la aplicación específica;
- Diseñar el sistema utilizando estrategias de control y disposición de componentes que favorezcan la eficiencia energética;
- Capacitar al usuario final no involucrando acciones que aumenten el consumo energético;

- Implementar un plan de mantención preventivo efectivo, en cuanto a sus labores y frecuencia;
- Realizar inspecciones para comprobar la hermeticidad del sistema;
- Al realizar reparaciones recuperar y/o reciclar el refrigerante según corresponda;
- Con el objetivo de reutilización, regenerar el refrigerante al final de la vida útil del sistema;
- Recuperar según el fluido utilizado como agente expansor del aislamiento térmico (si aplica).

CAPÍTULO 5

MANIPULACIÓN Y GESTIÓN DE REFRIGERANTE



Los refrigerantes nuevos, recuperados, reciclados o regenerados deben ser manipulados, transportados y/o almacenados por prestadores técnicos de servicio, empresas comercializadoras, titulares de sistemas y gestores de residuos autorizados, los cuales deben utilizar métodos aprobados, considerando la legislación vigente en cada instancia. Fabricantes de refrigerantes especifican recomendaciones para el transporte, manipulación y almacenamiento. Las cuales por ejemplo incluyen como mínimo⁷:

- **Transporte:**

- › Revisar el estado general de los cilindros de refrigerante
- › No exponer los cilindros de refrigerante a una temperatura superior a 52 °C
- › Transportar los cilindros de refrigerante, en posición vertical, fuertemente fijado y apilados
- › Identificar claramente los cilindros refrigerantes
- › Priorizar el traslado de los cilindros de refrigerante en una camioneta abierta

- **Almacenamiento:**

- › Los cilindros de refrigerante se deben almacenar en un lugar apropiado, a una temperatura máxima de 52 °C, sin riesgo de incendio, protegido de la radiación solar y de cualquier fuente directa de calor
- › Los cilindros almacenados al aire libre deberán ser resistentes a la intemperie
- › Evite áreas donde esté presente sal y otros materiales corrosivos
- › No almacenar cerca de materiales combustibles
- › En la zona de almacenamiento, los cilindros se deben fijar firmemente para evitar su caída
- › Con el fin de minimizar la corrosión de los cilindros, el lugar de almacenaje deberá ser seco y protegido de cualquier condición que pudiera dañarlos
- › Separar los cilindros llenos de los cilindros vacíos

NOTA:

La Ley 20.096/2006 en su Artículo 14, indica: "Corresponderá al Ministerio de Salud dictar la reglamentación aplicable a la generación, almacenamiento, transporte, tratamiento o reciclaje de las sustancias y productos controlados, en la que deberán incluirse las normas que permitan una adecuada fiscalización de las actividades anteriores"

.....
7 Utilizar la especificación más estricta según corresponda

5.1 EXTRACCIÓN DEL REFRIGERANTE EN UN PROCESO DE MANTENCIÓN O AL FINAL DE LA VIDA ÚTIL DEL SISTEMA

Para extraer el refrigerante en un proceso de mantención o al final de la vida útil del sistema, se deben considerar como mínimo los siguientes criterios:

- Los métodos aprobados para extraer el refrigerante corresponden a la recuperación y reciclaje;
- Utilizar máquinas recuperadoras o recicladoras de refrigerante aprobadas, no es permitido la utilización de compresores u otra máquina no aprobada para el proceso;
- En el caso de extraer refrigerante de un sistema utilizado para el enfriamiento de un fluido secundario, al momento de extraer el refrigerante y como consecuencia de la disminución de presión interna del sistema, se debe tener particular atención de no provocar la solidificación del líquido en el evaporador
- Al término de la vida útil del sistema o al realizar algún procedimiento que demande la apertura del circuito frigorífico, se debe reducir la presión del mismo o de las partes a intervenir, extrayendo el refrigerante hasta alcanzar a un valor de presión por debajo de la presión atmosférica, según la clasificación del sistema ([ver 3.2.1](#)):
 - > Tipo I: 15 pulgadas de mercurio
 - > Tipo II y III: 10 pulgadas de mercurio
- El tiempo necesario para la extracción del refrigerante dependerá de la presión inicial del sistema, cantidad de refrigerante y capacidad de la máquina recuperadora o recicladora;
- El proceso de extracción del refrigerante debe ser concluido, cuando al detener la máquina recuperadora o recicladora (permaneciendo todo el sistema a temperatura ambiente) la presión no aumente en un lapso mínimo de 30 minutos, en su defecto realizar nuevamente el proceso;
- Al concluir el proceso de extracción y antes de abrir el sistema, su presión interior debe ser igualada a la presión atmosférica mediante la utilización de nitrógeno seco.

NOTA:

Los prestadores técnicos de servicio y titulares de sistemas son encargados de tramitar y/o realizar la recuperación, reciclaje, regeneración y almacenamiento del refrigerante según corresponda, al considerar la reutilización del refrigerante, el proceso de regeneración es recomendado. Cualquier condición que imposibilite la reutilización del refrigerante, este debe ser entregado a gestores de residuos autorizados (centros de regeneración) para su disposición final.

5.2 CILINDROS REUTILIZABLES (RECUPERACIÓN)

Los cilindros reutilizables en adelante cilindros de recuperación, deben ser fabricados bajo estrictas normativas (ejemplo: especificaciones DOT 4BA 400) para ser utilizados en procedimientos de extracción de refrigerante. Se prohíbe usar cilindros desechables para dichas labores, ya que comprometen seriamente la seguridad del proceso.

Imagen 6
Cilindro de recuperación
con especificación DOT-
4BA 400

Fuente: www.mantank.com



5.3 REQUISITOS PARA LA REUTILIZACIÓN DEL REFRIGERANTE

La extracción de un refrigerante desde un determinado sistema se debe realizar mediante la utilización de una máquina recuperadora o recicladora. El destino del refrigerante extraído debe ser su reutilización inmediata o en su defecto, la entrega a un gestor de residuos autorizado (centro de regeneración), para ser procesado y posteriormente reutilizado, dicha decisión debe ser fundamentada como mínimo en las siguientes consideraciones:

- Historial del sistema;
- Tipo y distribución del refrigerante dentro del sistema;
- Razón que justifica extraer el refrigerante del sistema;
- Estado de conservación del sistema, y si será nuevamente puesto en funcionamiento.

5.3.1 Recuperación de refrigerante para su reutilización

El refrigerante recuperado de un sistema, por motivos de sobrecarga o una falla no contaminante, por ejemplo, una válvula de expansión termostática dañada, podrá ser cargado nuevamente en el mismo, como mínimo por intermedio de un filtro secador nuevo. En el caso de una falla contaminante, por ejemplo, la quema del motor eléctrico (compresor hermético o semihermético), el proceso de recuperación es insuficiente para reutilizar el refrigerante.

No es recomendable reutilizar refrigerantes recuperados directamente en un sistema distinto, incluso cuando provienen de un sistema no contaminado. En estos casos, utilizar como mínimo una máquina recicladora o en su defecto, al existir contaminación del refrigerante, éste debe ser regenerado.

5.3.2 Reciclaje de refrigerante

Cuando un sistema queda fuera de servicio, producto de una falla contaminante. Por ejemplo: humedad en el sistema, quema del motor eléctrico (compresor hermético o semihermético), el refrigerante debe ser extraído con una máquina recicladora, donde normalmente podrá ser cargado en el mismo u otro sistema distinto. Sin embargo, cuando el refrigerante proviene de un sistema altamente contaminado (incuantificable en campo), el proceso de reciclaje es insuficiente.

La imposibilidad de analizar en campo el refrigerante proveniente de un proceso de reciclaje, genera la incertidumbre de la calidad del refrigerante resultante, pudiendo comprometer la funcionalidad y eficiencia energética del sistema. En estos casos, el refrigerante debe ser regenerado.

5.3.3 Regeneración

La regeneración se realiza mediante máquinas que incluyen como mínimo la destilación del refrigerante, filtros secadores, antiácidos u otra tecnología adecuada para realizar la separación de aceite y contaminantes. Las máquinas de regeneración deben cumplir con un estándar que asegure su funcionalidad (ejemplo: AHRI 740). Por otro lado, los refrigerantes resultantes del proceso deben ser comprobados mediante directrices indicadas en estándares nacionales o internacionales (ejemplo: AHRI 700). Dichas especificaciones frecuentemente indican la realización de múltiples pruebas de laboratorio para asegurar la calidad del refrigerante.

Imagen 7
Máquina regeneradora

Fuente: www.reftec.com



ADVERTENCIA:

El refrigerante no debe ser mezclado (ejemplo: R-22 con R-134a), condición excluyente para ser regenerado y posteriormente reutilizado.

En el contexto nacional, con el apoyo de la Unidad Ozono del Ministerio del Medio Ambiente y financiado por el Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal, a través del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), nace Regener Chile⁸ (www.regenerchile.cl), empresa dedicada a la regeneración de gases refrigerantes, que apoya al país a cumplir con la disminución del consumo de refrigerantes, particularmente los HCFC. Por otro lado, Regener Chile responde a la necesidad del mercado de disponer y hacerse cargo de los residuos (ejemplo: cilindros de refrigerantes desechables) y equipos de refrigeración y aire acondicionado al final de su vida útil.



Imagen 8
**Ciclo del refrigerante
en un centro de
regeneración**

Fuente: www.regenerchile.cl

⁸ Mayor información contacto@regenerchile.cl.

5.3.3.1 Calidad de un refrigerante regenerado

Con el objetivo de comprobar la calidad del refrigerante regenerado, es necesario realizar una serie de pruebas para descartar la presencia de contaminantes en estado líquido, sólido y gaseoso. Los cuales perjudicarán la funcionalidad y eficiencia energética del sistema. Las mínimas pruebas a realizar son:

- Presencia de agua;
- Impurezas volátiles;
- Partículas sólidas y residuos de alto punto de ebullición;
- Acidez;
- Cloruro.

NOTA:

Mayor información consultar estándares internacionales, tales como AHRI 700

5.4 CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA MANIPULACIÓN DE CILINDROS REFRIGERANTES

- Utilizar guantes adecuados y protección ocular;
- Evitar inhalar el refrigerante;
- Los cilindros desechables utilizados deben ser entregados a un gestor autorizado, ya que contienen una cantidad residual de refrigerante;
- Utilizar cilindros de recuperación para los refrigerantes extraídos del sistema, identificados con el tipo de refrigerante, cantidad y calidad del refrigerante;
- Los cilindros se deben abrir lentamente y con precaución, desconectándose del sistema inmediatamente después de finalizar la carga o proceso de extracción, según sea el caso;
- No se deben golpear, dejar caer, o cualquier acción que los deteriore;
- No deben ser expuestos a radiación térmica durante la carga o extracción;
- Verificar que no contengan ningún tipo de corrosión o diverso daño;
- No deben conectarse entre sí, ya que, se podría provocar un trasvase incontrolado de refrigerante hasta sobrellenar el cilindro de menor temperatura;
- Los cilindros de recuperación no deben ser llenados en exceso, prestando especial atención a la carga máxima del cilindro y considerando potenciales mezclas refrigerante - aceite, la cual tiene una densidad menor que el refrigerante puro en fase líquida. La capacidad útil del cilindro de recuperación es el 80% aproximadamente de su volumen. Para calcular el llenado máximo de un cilindro reutilizable [ver 17.1](#);

- Para evitar el riesgo de mezclar distintos tipos y calidades de refrigerante (ejemplo: reciclados y recuperados) el cilindro de recuperación receptor sólo deberá haber sido utilizado previamente para esa calidad y tipo de refrigerante. La calidad debe ser indicada con claridad;
- El trasvase de refrigerante de un cilindro de recuperación a otro de iguales características se debe realizar aplicando métodos seguros y reconocidos, según los siguiente:
 - › Establecer un diferencial de presión entre los cilindros, ya sea disminuyendo la temperatura del envase receptor o bien, aumentando la temperatura del cilindro emisor mediante una manta calefactora ajustada a una temperatura tal, que la presión de saturación del refrigerante no supere el 85% del tarado correspondiente al dispositivo de alivio del cilindro
 - › Bajo ningún concepto se debe liberar a la atmósfera refrigerante del envase receptor para disminuir la presión existente en el mismo
 - › Para incrementar el caudal de transferencia de refrigerante no se debe calentar directamente los cilindros mediante llamas abiertas, calefactores de calor radiante o de contacto directo no aprobado
 - › Utilizar una máquina recuperadora o recicladora entre el cilindro emisor y receptor, cuantificando el peso inicial de cada cilindro

ADVERTENCIA:

En cada caso, considerar la cantidad máxima de llenado del cilindro receptor. Es responsabilidad del prestador técnico de servicio o gestor de residuos (centro de regeneración) realizar el procedimiento de forma segura, eliminando los potenciales riesgos que pudieran comprometer a personas, bienes materiales y al medioambiente.

5.5 REGISTRO DE MANIPULACIÓN

El prestador técnico de servicio debe mantener actualizado un registro de manipulación, que refleje todas operaciones realizadas con refrigerantes. Este registro debe contener al menos la siguiente información:

Tabla 10 :
**Mínima información para
 elaborar un registro de
 manipulación**
 Fuente: NCh3241:2017

REGISTRO DE MANIPULACIÓN REFRIGERANTES	
Fecha	[Fecha de la operación]
Tipo de operación	[Adquisición, carga de sistemas, recuperación, reciclaje, entrega a gestor autorizado, etc.]
Descripción	[En el caso de una carga de refrigerante a un sistema existente, documentar el tipo de falla que produjo la necesidad]
Tipo refrigerante	[Según ISO 817]
Cantidad refrigerante	[Cantidad de refrigerante en kg]
Responsable	[Persona competente responsable de la operación]
Referencia servicio	[Número factura o contrato]

CAPÍTULO 6

HERRAMIENTAS E INSTRUMENTOS (MEDIOS TÉCNICOS)



Los prestadores técnicos de servicio deben contar con todos los medios necesarios para desarrollar labores de instalación y/o mantención puesta en marcha de los sistemas. La cantidad y tipo de herramientas, instrumentos, máquinas y elementos de protección personal, varía de acuerdo a la naturaleza del sistema y tipo de labor.

A continuación, se indican los medios técnicos mínimos que deben tener los prestadores técnicos de servicio:

Termómetro (con sondas de ambiente, contacto y de inmersión o penetración):

Imagen 9

Termómetro multisondas de contacto

Fuente: www.fullgauge.com



Medidores de presión y sus mangueras:

Imagen 10

Medidores de presión análogos y digital

Fuente: www.mastercool.com

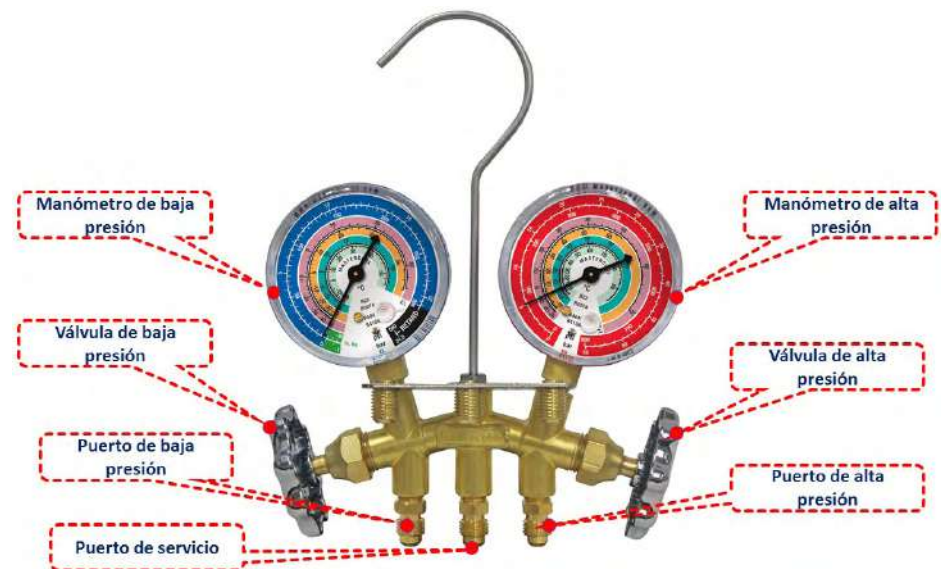


Imagen 11

Medidor de presión análogo de 4 vías

Fuente: www.mastercool.com

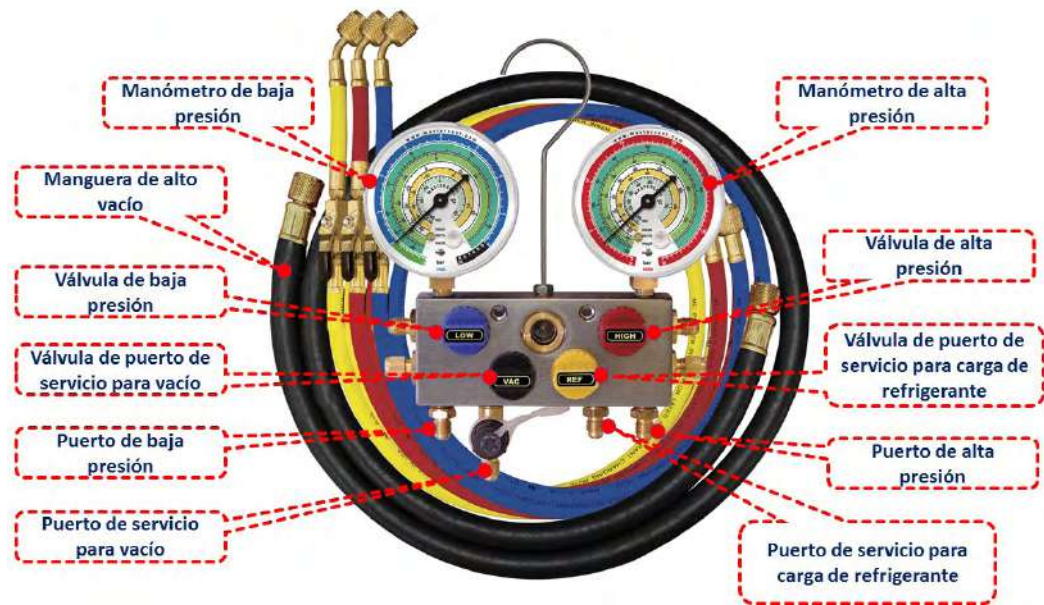


Imagen 12

Medidor de presión digital de 4 vías

Fuente: www.mastercool.com



Instrumento para medir tensión, corriente, resistencia, continuidad y capacidad de condensadores:

Imagen 13

Multímetro digital

Fuente: www.testo.com



Imagen 14

Amperímetro de tenaza

Fuente: www.testo.com



Vacuómetro:

Imagen 15

Vacuómetro electrónico

Fuente: www.mastercool.com



Anemómetro:

Imagen 16

Anemómetro digital

Fuente: www.testo.com



Higrómetro:

Imagen 17

Anemómetro psicrómetro (incluye medidor de humedad relativa)

Fuente: www.mastercool.com



Detector portátil de fugas (electrónico con una sensibilidad de al menos 5 gramos/año):

Imagen 18

Detector de fugas electrónico

Fuente: www.mastercool.com



Imagen 19

Detector de fugas por luz ultravioleta

Fuente: www.mastercool.com



Imagen 20

Fluido trazador para la detección de fugas por luz ultravioleta

Fuente: www.mastercool.com



Bomba de vacío (doble etapa):

Imagen 21

Bombas de vacío en doble etapa

Fuente: www.mastercool.com



Máquina recuperadora y/o recicladora de refrigerante:

Imagen 22

Máquina recuperadora

Fuente: www.mastercool.com



Imagen 23

Máquina recicladora

Fuente: www.mastercool.com

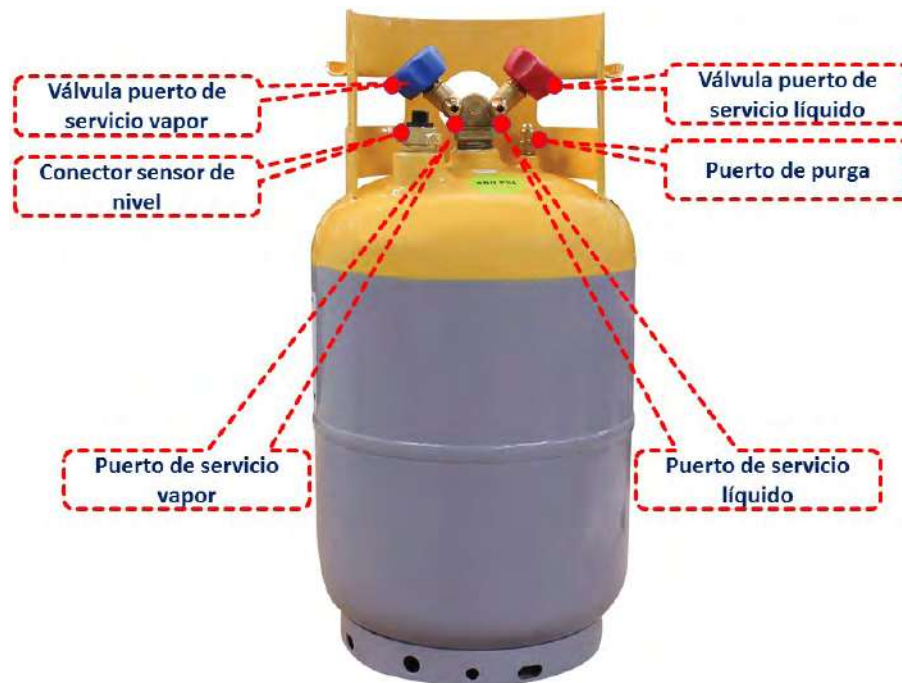


Cilindros de refrigerante reutilizables (cilindros de recuperación) normalizados:

Imagen 24

Cilindros reutilizables construidos bajo estándar DOT - ABA400

Fuente: www.mastercool.com



• **Báscula de carga:**

Imagen 25

Báscula digital

Fuente: www.mastercool.com

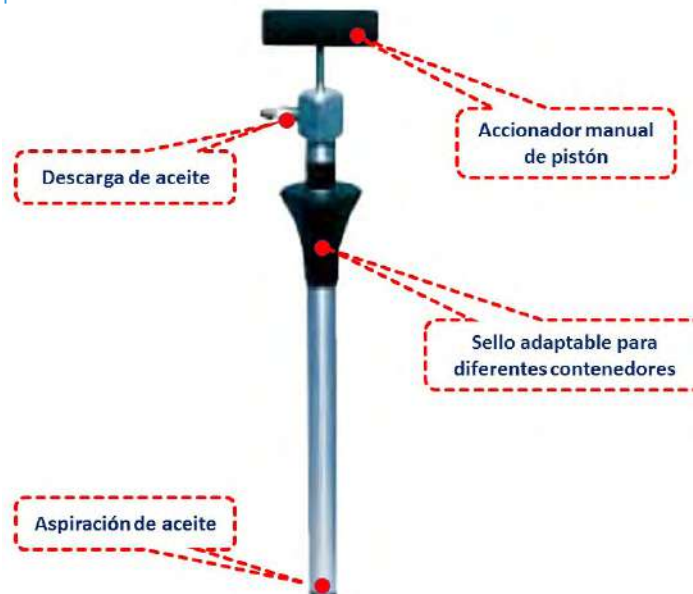


• **Bomba para cambiar aceite:**

Imagen 26

Bomba manual con sello adaptable

Fuente: www.parker.com



• **Sistema de limpieza para intercambiadores de calor:**

Imagen 27

Hidrolavadora para limpieza de intercambiadores de calor (Ejemplo: condensadores enfriados por aire)

Fuente: www.karcher.com



• **Equipo para soldadura fuerte: Equipo de soldar oxiacetileno** Fuente: www.uniweld.com

Imagen 28



• **Gases industriales:**

Imagen 29

Cilindro de oxígeno y acetileno

Fuente: www.indura.com



• Imagen 30

Cilindro de nitrógeno

Fuente: www.indura.com

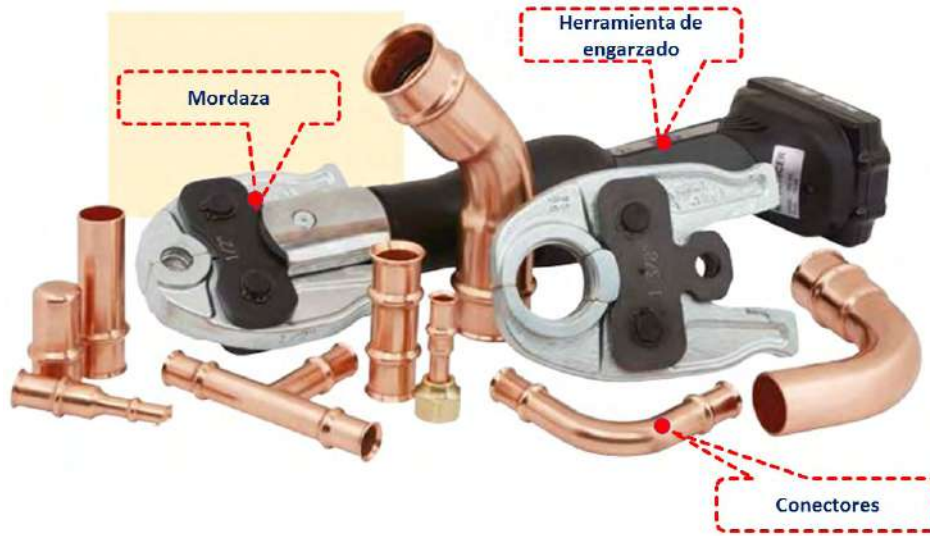


• **Método de unión alternativo a la soldadura fuerte:**

Imagen 31

Unión de tuberías libres de soldadura

Fuente: www.parker.com

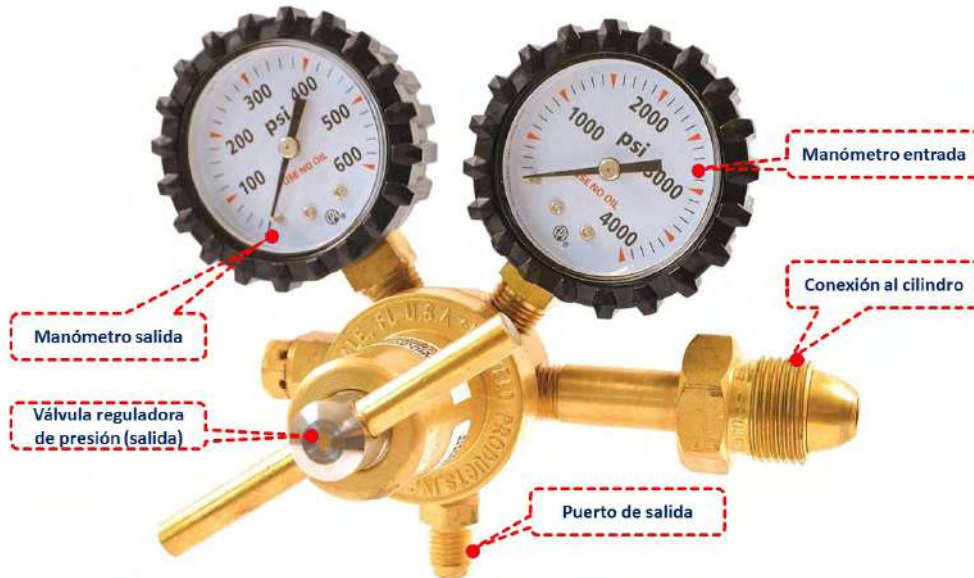


• **Reductor de presión con manómetros incorporado para cilindro de nitrógeno:**

Imagen 32

Reductor de presión con manómetros

Fuente: www.uniweld.com



• **Flujómetro de nitrógeno para procesos de soldadura fuerte:**

Imagen 33

Flujómetro de nitrógeno

Fuente: www.uniweld.com



• **Juego de abocardado cónico:**

Imagen 34

Abocardador cónico en 45° y prensa para tuberías

Fuente: www.mastercool.com



• **Juego de expansión recta:**

Imagen 35

Expandidor recto hidráulico

Fuente: www.mastercool.com



• Imagen 36

Juego de expansión recta y abocardado cónico en 45°

Fuente: www.mastercool.com



• **Curvadoras de tuberías:**

Imagen 37

Curvadora universal de tubos para diámetros 1/4", 5/16" y 3/8"

Fuente: www.mastercool.com



• **Juego de herramientas manuales, en buenas condiciones, que incluya a lo menos:**

Juego de llaves: / Punta y corona / Hexagonales / Torx
 Juego de alicates y destornilladores

Imagen 38

Juego de alicates y atornilladores eléctricos

Fuente: www.knipex.com



Corta tubos

Imagen 39

Cortador de tubos para diámetros desde 1/4" hasta 1 1/2"

Fuente: www.mastercool.com



Escariador

Imagen 40

Escariador de tuberías tipo lápiz

Fuente: www.mastercool.com



• **Llave de vástagos**

Imagen 41

Llave de vástagos para el servicio de compresores

Fuente: www.mastercool.com

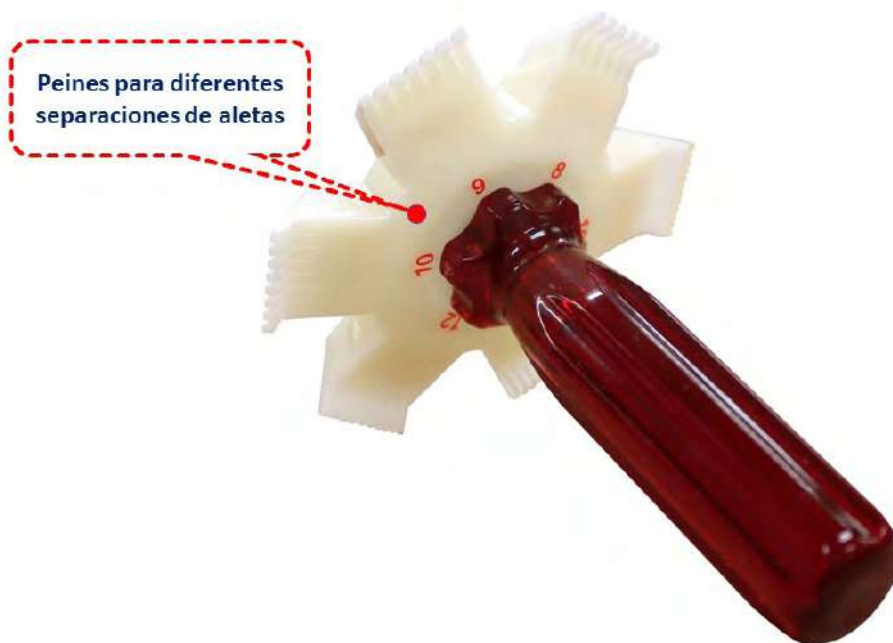


• **Peine para enderezar aletas**

Imagen 42

Peine para aletas de condensadores y evaporadores, con distintas medidas de separación.

Fuente: www.mastercool.com



• Entallador de terminales eléctricos

Imagen 43

Entallador o aprieta terminales eléctricos para distintos calibres de conductores

Fuente: www.knipex.com



Equipos de protección personal:

- Gafas de seguridad (transparentes u oscuras, según corresponda)
- Zapatos de seguridad y ropa con protección UV
- Protección solar en labores exteriores, incluso en días nublados

ADVERTENCIA:

Las imágenes utilizadas en este capítulo son referenciales y no pretenden publicitar ninguna marca y modelo específico. Es de absoluta responsabilidad del prestador técnico de servicio, disponer de los recursos técnicos en función de las tareas a desarrollar (estado, cantidad y características).

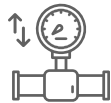
.....
CAPÍTULO 7

PRESIÓN MÁXIMA ADMISIBLE (PMA)





- La Pma es utilizada como referencia para establecer valores de presión a utilizar en pruebas previas a la puesta en marcha y para el ajuste de los dispositivos de control y seguridad;
- Durante el funcionamiento normal, dentro de las condiciones de diseño, detención y transporte, ningún componente del sistema debe sobrepasar a la Pma;
- La Pma se debe determinar teniendo en cuenta factores tales como:
 - › Medio condensante (aire y/o agua)
 - › Insolación o radiación solar con el sistema detenido (en el caso de sistemas ubicados total o parcialmente en el exterior)
 - › Método de descongelamiento
 - › Tipo de aplicación



- Se deben considerar márgenes de operación, entre la presión normal de trabajo y los dispositivos de protección. Estos márgenes deben tener en cuenta posibles incrementos indeseados de presión por:
 - › Ensuciamiento de los intercambiadores de calor, particularmente el condensador
 - › Acumulación de gases no condensables
 - › Extremas condiciones del medio condensante (temperatura ambiente en el caso del aire)

El valor mínimo para la Pma se determina en función de la presión del refrigerante, de acuerdo a las temperaturas saturadas mínimas, especificadas como referencia en la Tabla 11.

Temperatura ambiente (t_{amb})	$t_{amb} \leq 32\text{ °C}$	$32\text{ °C} < t_{amb} \leq 38\text{ °C}$	$38\text{ °C} < t_{amb} \leq 43\text{ °C}$
Sector de alta presión con condensador enfriado por aire	55 °C	59 °C	63 °C
Sector de alta presión con condensador enfriado por agua	Temperatura máxima de salida del medio condensante del condensador + 13 K		
Sector de alta presión con condensador evaporativo	48 °C		
Sector de baja presión con intercambiado de calor expuesto la temperatura ambiente	32 °C	38 °C	43 °C
Sector de baja presión con intercambiado de calor expuesto la temperatura interior	27 °C	33 °C	38 °C

Tabla 11

Temperaturas saturadas mínimas para el cálculo de la Pma

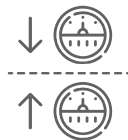
Fuente: NCh3241:2017

NOTA:

En el caso que un dispositivo de alivio de presión se encuentre descargando, la presión en cualquier componente no debe sobrepasar en más del 10% a la Pma.

Otros puntos relevantes para determinar la Pma:

- Para seleccionar la temperatura ambiente (medio condensante aire) se debe considerar el historial de temperaturas y la posible presencia de microclimas, en función de diversas variables, tales como: altitud geográfica, presencia de ríos, lagos, vientos, etc.;



- Para el sector de alta presión, la temperatura saturada especificada se considerará como la máxima que exista durante el funcionamiento, y debe ser mayor que la obtenida con el compresor detenido;



- En el caso de evaporadores sometidos a altas presiones. Por ejemplo: durante el descongelamiento por gas caliente, gas latente u operación en ciclo inverso, se debe utilizar la temperatura saturada especificada para el sector de alta presión;



- Para el sector de baja presión y presión intermedia, es suficiente basar los cálculos de la Pma en la temperatura de saturación máxima prevista durante el período donde el compresor está detenido;
- Al ser necesario, el sistema podrá dividirse en varias partes. Ejemplo: sectores de alta y baja presión, y para cada una de ellas existirá una Pma diferente;

- La presión de trabajo del sistema (o parte del sistema) normalmente será menor que la presión máxima admisible;
- Considerar que pulsaciones de gas pueden producir sobrepresiones;
- Para mezclas zeotrópicas, la temperatura saturo indicada para el cálculo de la Pma corresponde a la temperatura del punto de rocío.

7.1 RELACIONES ENTRE LAS DIFERENTES PRESIONES CON LA PMA

Los sistemas deben ser diseñados, seleccionados, comprobados (pruebas previas a la puesta en marcha) y ajustados (control y seguridad), según corresponda, de acuerdo a las siguientes relaciones con respecto a la Pma:

Presión de diseño	$\leq 1,0 \times P_{ma}$
Presión de prueba de resistencia a la presión para tuberías de interconexión y componentes que constituyen el sistema	$1,1 \times P_{ma}$
Presión de prueba de estanquidad	$\geq 0,9 \times P_{ma}$ y $\leq 1,0 \times P_{ma}$
Ajuste del presostato de alta seguridad (sistema con dispositivo de alivio)	$\leq 0,9 \times P_{ma}$
Ajuste del presostato de alta seguridad (sistema sin dispositivo de alivio)	$\leq 1,0 \times P_{ma}$
Ajuste del dispositivo de alivio de presión	$\leq 1,0 \times P_{ma}$
Presión máxima de descarga para la capacidad nominal de la válvula de seguridad	$\leq 1,1 \times P_{ma}$

Tabla 12

Relación entre distintas presiones y la Pma

Fuente: NCh3241:2017

NOTA:

Valores específicos para algunos refrigerantes [ver Tabla 15](#)



CAPÍTULO 8

RECOMENDACIONES DE DISEÑO

8.1 REQUISITOS DE MATERIALES Y COMPONENTES

- Deben ser apropiados para soportar tensiones mecánicas, térmicas y químicas;
- Deben ser compatibles con el refrigerante y aceite contenido en el sistema, es necesario visualizar niveles bajos de contaminación;
- Las características y funcionalidad deben contar con verificaciones de conformidad emitidas por el organismo pertinente;
- Las tuberías de interconexión y sus uniones, destinadas al transporte de refrigerante y aceite, deben mantener la hermeticidad, resistiendo presiones y temperaturas producidas en el funcionamiento o reposo del sistema;
- El material de las tuberías y su espesor, deben ser apropiados, en función de la aplicación del sistema, refrigerante y lugar de emplazamiento.

RECOMENDACIÓN:

Informar al titular del sistema sobre las diferencias de calidad en los componentes y materiales disponibles comercialmente para implementar un sistema de refrigeración, donde frecuentemente esta característica está asociada a una diferencia económica. La utilización de componentes y/o materiales de menor calidad, podrían causar una falla, resultando en pérdidas con un costo superior en el tiempo, al costo de haber adquirido componentes y/o materiales comprobados en la inversión inicial

8.2 CARGA TÉRMICA

Los sistemas de refrigeración deben estar diseñados para responder a los requerimientos de máxima carga térmica en las condiciones de funcionamiento de diseño, considerando todas las posibles pérdidas. Sin embargo, esta condición se presenta en cortos periodos y la mayor parte del tiempo el sistema funciona a carga térmica parcial.

La variación de carga térmica durante el funcionamiento del sistema está sujeta a cambios como: condiciones del aire que ingresa a la cámara (aperturas de puertas), temperatura y cantidad de producto e incluso el perfil de utilización por parte del usuario.

El cálculo de carga térmica es la información base para realizar la selección del sistema o de los componentes que lo conforman. Es un cálculo basado en predicciones, las cuales deben acercarse lo más posible a la realidad. Un cálculo de carga térmica debe contar como mínimo con la siguiente información:

- **Temperatura y humedad relativa** del aire que rodea la cámara;
- **Temperatura y humedad relativa requerida** por la naturaleza del producto para su mantención;
- **Características del material** utilizado para el aislamiento térmico de muros, techo y piso;
- **Dimensiones** de la cámara o sala de proceso.
- **Tipo, cantidad y propiedades del producto:**
 - › Calor específico sobre el punto de solidificación
 - › Calor latente de solidificación
 - › Calor específico bajo el punto de solidificación
 - › Densidad
 - › Temperatura y humedad relativa de mantención
 - › Tiempo máximo de mantención
 - › Calor de respiración
- **Proceso requerido:**
 - › **Mantención fresco:** El producto ingresa a la cámara a una temperatura ligeramente superior o igual a la temperatura de mantención (Temperatura de cámara $\geq 0^{\circ}\text{C}$)
 - › **Mantención congelado:** El producto congelado ingresa a la cámara a una temperatura ligeramente superior o igual a la temperatura de mantención (Temperatura de cámara $\leq -18^{\circ}\text{C}$)
 - › **Enfriamiento:** El producto ingresa a la cámara a una temperatura superior a la temperatura de mantención, incluso a temperatura ambiente. El proceso involucra únicamente la variación de temperatura sin cambio de estado del producto (calor sensible)
 - › **Congelación:** El producto ingresa a la cámara a una temperatura superior al punto de congelación. En consecuencia, el proceso involucra variación de temperatura y cambio de estado (calor sensible y latente)
 - › **Salas de proceso:** Lugar destinado a realizar procesos productivos. En el interior podrían existir diversos equipos relacionados y personas realizando labores

- **Tiempo:**

Usualmente una cámara de mantención trabaja las 24 horas. Sin embargo, se considera un tiempo de funcionamiento del compresor de 14 a 18 horas. En el caso de procesos de enfriamiento y congelación, los ciclos son acotados y están en función del requisito de producto. El tiempo mínimo para el proceso depende de la capacidad del producto procesado para transportar el calor desde su interior hasta su superficie, dicha capacidad depende directamente de características como su conductividad térmica y dimensiones (a veces caracterizada como calibre).

Una vez completado el levantamiento de información, el cálculo de carga térmica puede ser separado en cuatro puntos principales:

- **Transmisión de calor por paredes, piso y cielo:** Ganancia térmica en función de las características del aislamiento térmico (superficie y coeficiente global de transferencia de calor) y la magnitud de la diferencia, entre la temperatura que rodea a la cámara y la temperatura interna de la misma;
- **Infiltraciones y renovaciones de aire:** En función del perfil de uso y condiciones de temperatura y humedad relativa que rodea a la cámara y el interior de ésta. El sistema de refrigeración debe ser capaz de contrarrestar la ganancia térmica producida por el aire que ingresa a la cámara, lo cual involucra deshidratación y disminución de temperatura;
- **Producto:** Dependiendo el proceso, la ganancia térmica puede estar compuesta únicamente por calor sensible o calor sensible y latente. Respecto al calor por respiración, únicamente es considerado para la mantención fresco de frutas y verduras;
- **Misceláneos:** Ganancia térmica producida por cualquier fuente no caracterizada anteriormente. Ejemplo: luces, personas y motores, incluyendo los motores ventiladores del evaporador.

Existen diversas formas de realizar un cálculo de carga térmica, mediante el uso de planillas electrónicas, softwares suministrados por fabricantes de componentes y/o sistemas, incluso el uso de tablas rápidas. Independiente la forma utilizada, el cálculo debe arrojar un resultado lo más ajustado posible a la necesidad. Un sobredimensionamiento del sistema involucra aumentos en los costos de implementación y operación. Por su parte, un sistema subdimensionado no cumplirá con los requisitos de funcionalidad, desperdiciando la inversión inicial.

NOTA:

Es importante realizar un levantamiento correcto de las necesidades del proceso. Un cálculo incorrecto de carga térmica resultará en un sistema no funcional, aunque la instalación y puesta en marcha hayan sido realizadas correctamente.

8.3 CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Al igual que la carga térmica, las condiciones de funcionamiento del sistema están basadas en predicciones. El sistema debe ser funcional en las condiciones más desfavorables de temperatura. Sin embargo, pueden existir variaciones significativas como resultado del cambio de estación (invierno - verano) o incluso del día y noche.

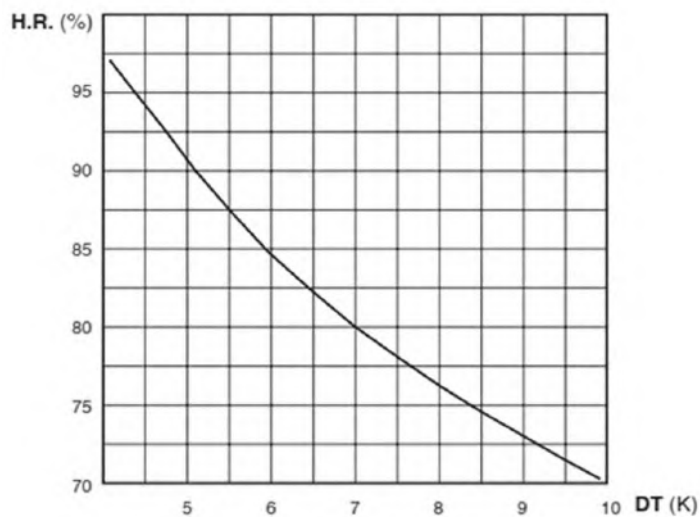
Los criterios de diseño deben considerar medidas para asegurar la funcionalidad y eficiencia energética del sistema en distintos regímenes de carga térmica y condiciones ambiente. Las características constructivas del sistema y las estrategias de control deben suponer estas condiciones, asegurando la funcionalidad del sistema y su eficiencia energética.

Las condiciones de funcionamiento de proyecto, es decir, las consideradas en el diseño y dimensionamiento del sistema de refrigeración son:

- **Temperatura de condensación:** Usualmente mayor entre 8 a 12 K a la temperatura del medio condensante máxima promedio (cuando se utiliza aire);
- **Temperatura de evaporación:** En función de los requisitos de almacenamiento del producto, temperatura y humedad relativa, es determinada la diferencia entre la temperatura de cámara y la temperatura de evaporación, pudiendo separar los productos en dos grandes grupos: productos sujetos a deshidratación y productos no sujetos a deshidratación. Para los primeros se utilizan usualmente diferencias de temperatura de entre 6 a 8 K y para los segundos entre 8 a 10 K;

Imagen 44
Relación humedad
relativa y diferencia de
temperatura

Fuente: www.krefrigeration.com



NOTA:

Usualmente los alimentos están dentro del rango de diferencial de temperatura mencionado. Sin embargo, es necesario considerar que pudieran existir requerimientos especiales.

- **Sobrecalentamiento:** El sobrecalentamiento a la salida del evaporador es generado por el funcionamiento de la válvula de expansión y generalmente es ajustable. Respecto al sobrecalentamiento total o del sistema, se deben estimar valores menores al máximo admitido según los límites de aplicación del compresor, siendo aceptable entre 20 a 25 K, aunque valores inferiores, del orden de 15 K contribuyen a una mejora de la eficiencia global del sistema;
- **Subenfriamiento:** En la ausencia de subenfriadores de líquido, el subenfriamiento se realiza de forma natural producto de la diferencia de temperatura entre el refrigerante y la temperatura que rodea la línea de líquido. Es aceptable utilizar valores entre 2 a 6 K.

ADVERTENCIA:

Considerar valores excesivos de subenfriamientos que posteriormente no serán cumplidos en el funcionamiento real del sistema, orientarán una selección de un compresor subdimensionado.

8.4 COMPRESORES

- Utilizar los que presenten un menor riesgo de fuga y mayor eficiencia energética para la aplicación considerada;
- Considerar que la capacidad frigorífica del sistema (relacionada con la carga térmica) es menor que la capacidad frigorífica declarada del compresor, ya que, el sobrecalentamiento útil es menor al sobrecalentamiento total de aspiración del compresor;
- Seleccionarlo en las condiciones de funcionamiento establecidas en diseño, adecuando las condiciones de catálogo según corresponda. Si es posible, realizar la selección mediante el software suministrado por el fabricante;
- Comprobar que las condiciones de funcionamiento del sistema consideradas en el diseño sean coherentes con los límites de aplicación del compresor;
- Verificar el método de enfriamiento (refrigerante o aire) más adecuado para el compresor en función de su aplicación y eficiencia energética;

- Utilizar la conexión eléctrica que demande un menor gasto energético, principalmente en cada partida (ejemplo: estrella - doble estrella);
- Evaluar la incorporación de partidores suaves o convertidores de frecuencia;
- Especificar la instalación de calefactores de cárter al compresor, independiente de la aplicación del sistema;
- Al detenerse el compresor por algún dispositivo de seguridad (ejemplo: presostato de alta presión, diferencial de aceite, etc.), por algún método (estrategia de control) se debe desenergizar la (s) válvula (s) solenoide(s) de la línea de líquido, indicando dicha situación mediante señales visuales hasta la reposición del funcionamiento del compresor.
- En el caso de un sistema compuesto de un único compresor y que según su límite de aplicación la temperatura máxima de evaporación sea igual o menor a -10°C , se debe instalar una válvula limitadora de presión de aspiración u otro componente que impida sobrepasar esta condición de funcionamiento.

ADVERTENCIA:

La selección de un compresor se debe realizar en función de su capacidad frigorífica, y no de su potencia eléctrica.

8.4.1 Protección de compresores

Considerar como mínimo las protecciones contenidas de serie por el compresor y las recomendadas por el fabricante. En función de lo crítico del proceso y las características constructivas del compresor, es posible la incorporación de otras protecciones. A saber:

Imagen 45
Guardamotor trifásico

Fuente: www.danfoss.com

- **Magnitudes eléctricas:**
 - › Guarda motor o relé térmico
 - › Relé de asimetría



Imagen 46
Módulo de protección por altas temperaturas de motor y descarga

Fuente: www.bock.de

- **Altas temperaturas:**
 - › Módulo de protección bobinado de motor
 - › Temperatura de descarga



- **Presiones:**

- › Presostato alta presión de condensación
- › Presostato baja presión de aspiración
- › Válvula limitadora de presión de aspiración
- › Presostato descarga de aceite
- › Presostato diferencial de aceite



Imagen 47

Presostato de alta presión con reame manual

Fuente: www.danfoss.com



Imagen 48

Presostato diferencial de aceite con relé temporizado

Fuente: www.danfoss.com

- **Aceite:**

- › Bajo nivel en el cárter



Imagen 49

Control de nivel de aceite y alarma de bajo nivel

Fuente: www.climate.emerson.com

NOTA:

Visualizar potenciales fallas, la incorporación de protecciones siempre tiene un costo menor que el compresor y todo lo involucrado con la falla del sistema.

8.5 EVAPORADORES

- En su selección utilizar todos los factores de corrección especificados por el fabricante en el catálogo (ejemplo: frecuencia eléctrica, refrigerante, diferencias de temperatura, etc.);
- Seleccionar el evaporador con la diferencia de temperatura según lo determinado en diseño, en función de los requerimientos de almacenamiento del producto (temperatura de cámara y humedad relativa);
- La separación de aletas debe ser coherente con la temperatura de evaporación;
- La flecha de aire de los ventiladores debe ser a lo menos de la longitud de la cámara;
- La geometría de la cámara determinará el número de evaporadores a utilizar, en función de mantener una temperatura homogénea del producto, condición a obtener mediante la correcta distribución de aire;
- En el caso de un sistema clasificado como Tipo III, armados en su lugar de emplazamiento, se deben instalar válvulas de corte manual en la entrada (antes de la válvula solenoide) y salida de cada evaporador. Además, con el objetivo de independizar grupos de evaporadores (en el caso de múltiples evaporadores en paralelo) instalar válvulas de corte manual en cada derivación de la matriz de líquido y aspiración;
- En el caso de requerimientos especiales, tales como: salas de proceso, cámaras de fermentación, etc. considerar la utilización de evaporadores de techo, del tipo *Plafonier*.

Imagen 50 :
Evaporador de techo del
tipo Plafonier

Fuente: www.intercal.cl



8.6 CONDENSADORES

- En la selección utilizar todos los factores de corrección especificados por el fabricante en el catálogo. Por ejemplo:
 - › Suministro de frecuencia eléctrica, relevante en la velocidad de rotación de los ventiladores
 - › Tipo de refrigerante
 - › Diferencia de temperatura entre la temperatura del medio condensante y la temperatura de condensación
 - › Altitud geográfica donde está emplazado el sistema
- Seleccionar el condensador con la diferencia de temperatura según lo determinado en diseño.
- Según características constructivas, considerar la incorporación de un mecanismo para el control de capacidad (ejemplo: presostato de alta presión con rearme automático gobernando la energización y desenergización de uno o varios ventiladores).

NOTA:

La instalación de condensadores en paralelo requiere la igualación de sus caídas de presión. En caso contrario, la potencia frigorífica total de condensación no corresponderá a la sumatoria de las potencias frigoríficas unitarias de cada condensador

ADVERTENCIA:

El sobredimensionamiento del condensador y/o la ausencia de mecanismos de control de presión de condensación generan bajas presiones de condensación, las cuales también producen problemas en el funcionamiento del sistema (suministro deficiente de líquido a la válvula de expansión).

Imagen 51

**Condensador remoto
(medio condensante aire)**

Fuente: www.intercal.cl



8.7 DISPOSITIVOS DE EXPANSIÓN

- Seleccionar la válvula de expansión según las condiciones de funcionamiento determinadas en diseño:
 - › Capacidad frigorífica del sistema
 - › Temperatura de condensación
 - › Temperatura de evaporación
 - › Refrigerante
 - › Subenfriamiento
- Caída de presión a través de la válvula
- Utilizar válvula de expansión con equalización externa para evaporadores que dispongan de distribuidor de líquido;



Imagen 52

Válvula de expansión con orificio intercambiable, eualización interna y externa (izquierda a derecha respectivamente)

Fuente: www.danfoss.com

- Considerar la utilización de válvulas de expansión electrónicas.



Imagen 53

Válvula de expansión electrónica modulada por ancho de pulso

Fuente: www.danfoss.com

- Especificar la instalación de un visor de líquido antes del dispositivo de expansión (después del solenoide según el sentido de flujo del refrigerante) para comprobar el correcto suministro de líquido al evaporador.

NOTA:

Las válvulas de expansión electrónicas pueden controlar menores sobrecalentamientos en la salida del evaporador, en consecuencia, permiten aprovechar gran parte de la superficie de transferencia del intercambiador en calor latente. Sobrecalentamientos altos producen bajas presiones de evaporación (menores a las consideradas en diseño) afectando la eficiencia energética del sistema (disminución de COP).

8.8 DEPÓSITOS DE LÍQUIDO

- El depósito de líquido de alta presión debe contener en menos del 80% de su volumen, todo el refrigerante cargado del sistema;
- Los depósitos de líquido pertenecientes a sistemas clasificados como tipo III, armados en su lugar de emplazamiento, deben incorporar visores o columna de nivel que permitan registrar la carga de refrigerante del sistema.

8.9 DIÁMETROS DE TUBERÍAS

La selección de los diámetros de tuberías es un compromiso entre:

- **Velocidad del refrigerante:** dado que existe una mínima velocidad para garantizar el arrastre/retorno del aceite hacia el compresor, y una máxima velocidad a partir de la cual la circulación de refrigerante generará ruido;
- **Caídas de presión:** generadas por la circulación del refrigerante y que provocan una disminución de la presión de evaporación y un aumento de la presión de condensación soportadas por el compresor, por tanto, una disminución de la eficiencia energética (COP). Las caídas de presión son proporcionales al cuadrado de la velocidad, por tanto, si la velocidad del refrigerante se dobla, la caída de presión se cuadruplica.

Seleccionar diámetros de tuberías utilizando criterios de velocidad y caídas de presión. Cuando no es posible cumplir ambos criterios, priorizar velocidad del refrigerante, verificando la capacidad frigorífica del compresor en las nuevas condiciones de aspiración saturada. Se recomienda utilizar los siguientes criterios de selección:

- Caídas de presión máximas admitidas en función de temperaturas saturadas, líneas:
 - › Aspiración y descarga: 1 K
 - › Líquido: 0,5 K
- Velocidad para asegurar el retorno de aceite al compresor, líneas:
 - › Aspiración: 6 a 14 m/s, mínimo 8 m/s para tramos verticales ascendentes
 - › Descarga: 6 a 14 m/s
 - › Líquido (Entre el depósito de líquido y válvula de expansión): 0,6 a 1,2 m/s

ADVERTENCIA:

En sistemas que dispongan de variación de capacidad (Ejemplo: Rack de compresores) se debe considerar la incorporación de doble aspiración en cada nueva subida y la velocidad del refrigerante en la condición de menor capacidad frigorífica del sistema.

8.10 TENDIDO DE TUBERÍAS

- En el caso de bifurcaciones en 90°, utilizar curvas de radio largo por sobre curvas de radio corto (codo), ya que estas últimas disponen de un mayor largo equivalente ([ver Tabla 17](#)), y en consecuencia mayor caída de presión;
- Es recomendable unir las tuberías de diferente diámetro mediante un fitting adecuado de reducción. Insertar una tubería de menor diámetro en otra tubería de mayor diámetro, produce una unión con baja penetración de aporte en la tolerancia de las piezas, en consecuencia, un potencial origen de fuga;
- Utilizar preferentemente cobre como material de las tuberías para la implementación de sistemas de refrigeración que utilizan refrigerante fluorado (HCFC y HFC). En caso contrario, justificar técnicamente la selección de un material distinto;
- Reducir el uso de uniones desmontables, priorizando las uniones no desmontables realizadas con soldadura fuerte u otro método alternativo comprobado ([ver Imagen 31](#));
- Los tendidos de tuberías se deben soportar y fijar correctamente para evitar vibraciones, las cuales contribuyen a fugas de refrigerante;
- En las tuberías de larga longitud, sometidas a frecuentes cambios de temperatura, tales como las utilizadas en el descongelamiento por gas caliente o gas latente, considerar la instalación de dispositivos para absorber la dilatación (ejemplo: liras, zetas, etc.) y de soportes deslizantes (no fijos) en puntos adecuados para evitar roturas por tensiones;
- Las tuberías para la conexión de instrumentos (ejemplo: manómetros), dispositivos de control y/o seguridad (ejemplo: presostatos) deben ser preferentemente fabricados de un material flexible;
- La localización del tendido de tuberías debe facilitar por algún método, el acceso a inspección y mantención de éstas;
- Considerar las caídas de presión parcial y total de las líneas;
- Especificar métodos de fijación y aislamiento de sensores.

8.11 CANTIDAD DE REFRIGERANTE

- Minimizar la carga de refrigerante reduce el riesgo de fugas importantes (siempre asegurando la funcionalidad del sistema);
- Para reducir la carga se debe minimizar el volumen interno de los componentes que contienen refrigerante líquido (condensador, línea de líquido y depósito de líquido);
- Considerar la carga de refrigerante adecuada para la funcionalidad y eficiencia energética del sistema, en este sentido debe evitarse la presencia de burbujas de gas en la línea de líquido.

ADVERTENCIA:

Al minimizar la carga no se debe comprometer la funcionalidad y eficiencia energética del sistema, ya que esto resultara en mayores emisiones indirectas de CO₂.

- Requisitos generales:
 - › Bajo coeficiente de conductividad térmica
 - › Resistencia a la absorción y difusión del vapor de agua
 - › Baja o nula inflamabilidad
 - › En caso de combustión, no producir gases tóxicos
 - › Resistencia a la descomposición y condiciones ambientales externas, incluye la radiación solar
 - › Resistencia mecánica, especialmente en los puntos de soportación de las tuberías
 - › No emitir olores u otros contaminantes al entorno
 - › Mantener sus propiedades en un rango de temperatura entre -70 °C y 120°C
- Seleccionar el aislamiento térmico (tipo y espesor) debe ser realizado mediante el método especificado por el fabricante, en función de las características constructivas del sistema y requerimientos. Sin embargo, los aspectos mínimos a considerar son:
 - › Temperatura y humedad relativa del aire ambiente, en el lugar de emplazamiento
 - › Diferencia de temperatura entre la superficie del componente o tubería y la temperatura ambiente
 - › Conductividad térmica del aislamiento térmico
 - › Forma y características del componente o tubería donde se utilizará el aislamiento térmico
 - › En ningún caso el espesor del aislante térmico puede ser inferior al necesario, se debe evitar la condensación superficial

8.13 DESCONGELAMIENTO

- Seleccionar la estrategia de control más adecuada desde el punto de vista funcional y eficiencia energética (ejemplo: descongelamiento por tiempo, demanda, etc.).
- Especificar los puntos de ajuste para todos los pasos en el ciclo (ejemplo: tiempo de drenaje, retardo de los ventiladores, etc.).
- Evaluar la necesidad de realizar descongelamientos según agenda (ejemplo: variante de la estrategia de descongelamiento por tiempo).
- Descongelamiento eléctrico:
 - › Selección de los componentes (contactores, disyuntores, etc.), de acuerdo a la potencia de los calefactores.
 - › La potencia de los calefactores no debe exceder el máximo disponible.

- Descongelamiento por gas:
 - › Tipo de descongelamiento (ejemplo: gas de descarga o latente)
 - › Configuración de las tuberías
 - › Descripción de cualquier medida de seguridad
- Examinar la correcta ubicación de los sensores involucrados en el proceso de descongelamiento. El sensor de temperatura final de descongelamiento, debe estar posicionado en el último lugar donde se fusiona el hielo del evaporador, condición que debe ser posteriormente verificada.

8.14 ALARMAS

- Considerar alarmas para los puntos críticos (ejemplo: seguridad, fallas de componentes, temperaturas de cámara, etc.);
- Especificar por cada dispositivo de seguridad el tipo de alarma (ejemplo: sonora, visual, mensaje de texto, correo electrónico, etc.);
- Considerar la monitorización remota de alarmas;
- Especificar el método de análisis para los registros de alarmas;
- Incluir descripción de cualquier software que se utilizará para realizar el análisis.

8.15 CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE FUERZA Y CONTROL

- Cumplir la normativa vigente referente a instalaciones eléctricas, y las especificaciones técnicas indicadas por el fabricante de cada dispositivo que los constituye. Además, contemplar en su implementación, la utilización de materiales acordes a la aplicación y potencias eléctricas requeridas;
- Considerar el diseño de forma que la corriente se establezca o interrumpa independientemente, en especial, de la red de alumbrado (normal y de emergencia), dispositivos de ventilación y sistemas de alarmas;
- En el caso de sistemas terminados en fábrica, el suministro de energía eléctrica deber ser realizado, de tal forma que facilite su rápida desconexión;
- Especificar los tipos de controladores, sensores y dispositivos de seguridad más apropiados, de acuerdo con las características constructivas del sistema, componentes y criticidad del proceso;
- Especificar las estrategias de control para asegurar la funcionalidad del sistema. Ejemplo: Control de la presión de condensación para asegurar el funcionamiento del compresor dentro de sus límites de aplicación y un adecuado funcionamiento de la válvula de expansión;

- Especificar el detalle de las distintas cargas eléctricas del sistema y su longitud de conexión, con el objetivo de seleccionar los componentes y conductores. Utilizar cables apantallados para la conexión de los sensores, conectando la malla (pantalla) a una conexión de tierra solamente en uno de sus extremos. Si existe una especificación concreta para el tipo o referencia de cable por parte del fabricante del sensor, respetarla;
- Considerar distancias perimetrales suficientes para realizar mantenimiento a tableros eléctricos.

NOTA:

En la actualidad existe una variada gama de controladores de temperatura, los cuales disponen de entradas digitales con interesantes posibilidades. Tales como: interruptores de puerta, interruptor principal, inicio de descongelamiento por pulso, etc.

8.16 DISPOSITIVOS PARA EL ALIVIO DE PRESIÓN

- Las presiones internas excesivas se deben evitar o aliviar, siempre con el mínimo riesgo posible. Los recipientes que puedan contener refrigerante líquido en condiciones normales de funcionamiento (ejemplo: depósito de líquido), y puedan ser independizados de otras partes del sistema, excepto aquellos cuyo diámetro interior sea inferior a 152 mm, deben ser protegidos mediante un dispositivo de alivio, de acuerdo los siguientes puntos:
 - › Los recipientes a presión con un volumen bruto igual o mayor que 100 dm³, deben estar provistos de dos dispositivos de alivio, instalados sobre una válvula conmutadora de tres vías. Cada dispositivo debe garantizar la capacidad de alivio requerida
 - › Los recipientes a presión con un volumen interior bruto menor a 100 dm³, deben



Imagen 54
Dispositivos de alivio de presión dispuestos en paralelo en una válvula de tres vías

Fuente: www.danfoss.com

estar provistos como mínimo de un dispositivo de alivio, descargando al sector de baja presión del sistema, a un receptor independiente o a la atmósfera.

- › Cuando se utilice un solo dispositivo de alivio, descargando en el sector de baja, se deberá prever los medios adecuados para que, con una mínima pérdida de refrigerante, y sin que el sistema quede desprotegido, el dispositivo pueda ser derivado y aislado para su revisión y desmontaje.



Imagen 55

Deposito de líquido vertical con válvula de alivio simple

Fuente: www.tecnac.net

- Adoptar las medidas adecuadas para detectar eventuales fugas en los dispositivos para el alivio de presión. Calcular el dimensionamiento de los dispositivos para el alivio de presión (capacidad de descarga) y sus tuberías de conexión, según ANSI/ASHRAE 15;
- Presión de tarado de las válvulas de seguridad: No deben tararse a un valor de presión superior a P_{ma} declarada para el componente protegido;
- En los sistemas tipos II y III, cuando se utilicen dispositivos para el alivio de la presión, como medida adicional durante el funcionamiento normal de la instalación deberá preverse un limitador que detenga el generador de presión (compresor) antes de que actúe alguno de los dispositivos con descarga a la atmósfera. Este limitador puede ser un presostato de alta presión (seguridad, rearme manual) ajustado a un valor del 90% de la presión de tarado de la válvula de seguridad (comprobar límites de aplicación del compresor).

8.17 DETECTORES DE REFRIGERANTE

- Los sistemas clasificados como tipo III, con una carga de refrigerante mayor o igual a 300 kg. deben contar con un sistema apropiado para la detección de refrigerante derivado de una rotura, fuga o liberación voluntaria;
- Se debe instalar en todos los puntos de frío cerrados, tales como: cámaras frigoríficas, salas de proceso, cuarto de máquina y todo lugar donde exista la posibilidad de acumulación de refrigerante;
- Debe generar una alarma en el caso de detectar refrigerante. Dicha alarma y la acción adoptada, se debe registrar en el cuadro de controles periódicos de fugas, libro de registro o bitácora del sistema;
- Los detectores de refrigerante situados en cámaras frigoríficas o salas de proceso deberán, en caso de fuga, desenergizar la/s válvula/s solenoide de el/los evaporadores situado/s en la misma.

8.18 CÁMARAS FRIGORÍFICAS Y SALAS DE PROCESO

- **Aislamiento:**
 - › Seleccionar y dimensionar el aislamiento procurando optimizar los costos de inversión, costos de operación del sistema, y además minimizando el impacto ambiental en su utilización y desecho (PAO del aislante, efecto invernadero directo e indirecto del conjunto del sistema y aislamiento);
 - › Al utilizar compuestos fluorados como gases espumantes, con un alto PAO y/o PCG, especificar su potencial recuperación (según disponibilidad del proceso y costos son razonables);
 - › Los suelos de las cámaras con temperatura inferior a 0 °C y/o tránsito pesado, se adoptarán las medidas adecuadas para evitar las deformaciones del piso, generadas por la congelación del terreno y/o por el peso de grúas horquillas, carros, etc.;
 - › Se tomarán las medidas pertinentes para la rotura de los posibles puentes térmicos.
- **Resistencia mecánica frente a sobrecargas fijas y de uso:**
 - › En la construcción de cámaras frigoríficas y salas de proceso, la estructura de soportación del aislamiento y los elementos que constituyen el propio aislamiento, deberán dimensionarse para resistir como mínimo depresiones o sobrepresiones, sin que se produzcan deformaciones permanentes;
 - › En techos autosoportantes no deberá instalarse ningún sobrepeso sin una justificación técnica que argumente la idoneidad de la estructura de soportación.

- **Situación de los dispositivos de regulación y control:**

- › Considerar que cualquier dispositivo instalado dentro de la cámara frigorífica o sala de proceso (ejemplo: válvulas de flujo), debe disponer de acceso permanente, el cual permita realizar operaciones de mantenimiento de forma segura.

- **Registro de temperatura:**

- › En cámaras frigoríficas o salas de proceso se deben instalar termómetros que cumplan con las normativas vigentes, en cuanto a sus características constructivas, calibración e instalación.

8.18.1 Cámaras frigoríficas

- Deben ser diseñadas para mantener en condiciones adecuadas el producto que contienen desde el punto de vista higiénico sanitario;
- Su diseño deberá preservar a la propia cámara del deterioro que pudiera producirse debido a la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de esta;
- Garantizar la seguridad de las personas ante desprendimientos, influencia de las sobrepresiones y depresiones, descargas eléctricas por derivaciones en las instalaciones y componentes eléctricos;
- Evitar la formación de suelos resbaladizos como consecuencia del agua procedente de condensaciones superficiales, aparición de hielo en el interior de las cámaras y en zonas de tránsito de las personas y vehículos;
- El consumo energético para mantener la cámara en las condiciones interiores prefijadas deberá ser lo más bajo posible, dentro de límites razonables.

- **Puerta isoterma:**

- › Preferentemente debe disponer de un sistema que permita su apertura manual sin ninguna condición excepcional (dispositivo interior de apertura), aunque desde el exterior se puedan cerrar con llave (sistema original);
- › Cuando la temperatura interna de la cámara frigorífica sea menor o igual a 0 °C, las puertas deben incorporar un calefactor perimetral, el cual debe funcionar constantemente y estar subordinado a un disyuntor termomagnético diferencial, para la protección de los operarios del sistema;
- › La resistencia térmica será al menos el 70% del valor de la resistencia térmica perteneciente al aislamiento térmico utilizado en la construcción de las paredes. Sin embargo, si la diferencia entre el interior de la cámara y el exterior de la puerta es igual o inferior que 10 K, podrá ser del 50%.

- **Sistemas equilibrador de presión:**

- › Todas las cámaras frigoríficas con volumen interno superior o igual a 20 m³, deben disponer de un sistema con una o varias válvulas equilibradoras de presión, seleccionadas adecuadamente en función de las condiciones de funcionamiento del sistema.

Imagen 56
Válvula equilibradora de presión

Fuente: Válvulas Elebar



RECOMENDACIÓN:

Evaluar la necesidad de incorporar un mecanismo de alarma para ser accionado desde el interior de la cámara por una persona atrapada accidentalmente.

8.18.2 Salas de proceso

- Deben ser diseñados para mantener las condiciones adecuadas del proceso, entre otras, desde el punto de vista higiénico y sanitario cuando se trate de productos alimentarios o farmacéuticos, garantizando la seguridad de las personas que trabajen en su interior;
- Considerar la utilización de evaporadores de bajo perfil o mangas de distribución en evaporadores cúbicos con ventiladores con presión disponible para las mismas;
- El consumo energético para mantener el recinto de trabajo en las condiciones interiores prefijadas del proceso debe ser lo más bajo posible, dentro de límites razonables.

ADVERTENCIA:

La utilización de evaporadores cúbicos (sin mangas de distribución) en una sala de proceso, puede provocar que el aire de inyección impacte directamente sobre las personas, generando serios daños a su salud.

8.19 SALAS DE MÁQUINA

- Deben servir para alojamiento exclusivo de los componentes del sistema y equipos auxiliares;
- Evitar que las emisiones de refrigerante procedentes de la sala de máquinas puedan ingresar en los recintos próximos (ejemplo: escaleras, patios, pasillos o canalización de desagües);
- En caso de riesgo, debe ser posible abandonar la sala de máquinas de forma inmediata, para lo cual, los pasillos y salidas, deben estar despejados de cualquier elemento que impida o dificulten en cualquier grado, la rápida evacuación;
- No debe existir ningún equipo productor de fuego, permanentemente instalado y funcionando en el interior de la sala de máquinas;
- No debe existir el almacenamiento de sustancias inflamables;
- Debe estar equipada con un sistema de ventilación natural o forzada. En el caso de ventilación forzada, se debe instalar un control de emergencia independiente, ubicado en el exterior y cerca de su puerta de entrada. También, en caso de ventilación forzada, ésta se pondrá en marcha si se detecta fuga de refrigerante por parte del detector de refrigerante;
- Todas las tuberías pertenecientes a distintos suministros, dispuestas en el interior de la sala de máquinas, deben ser caracterizadas según el fluido que transportan y marcadas claramente, de acuerdo a la normativa en particular.
- Cada sala de máquinas debe disponer como mínimo, de dos extintores portátiles de polvo polivalente (ABC), uno de ellos situado junto a la puerta de acceso y el otro, en un extremo de la sala. En cualquier caso, es prioritario responder a la normativa vigente sobre protección contra incendios:
 - › Sensores de refrigerante con alarmas visuales y sonoras
 - › Sensores de humo
 - › Citófono de comunicación en el caso de emergencia
- Instalar en el acceso las siguientes señales de advertencias:
 - › Identificación de la sala de máquinas, con prohibición de entrada a personal no autorizado
 - › Prohibición de fumar y manipular elementos productores de fuego
- Las dimensiones de las salas de máquinas deben cumplir con permitir la instalación de los componentes en condiciones favorables, para asegurar cualquier servicio de mantenimiento, condiciones de funcionamiento y desmontaje.
- **Puertas y aberturas:**
 - › Las salas de máquinas deben tener puertas que se abran hacia afuera, en un número suficiente, para asegurar, en caso de emergencia, una evacuación rápida del personal. Además, las puertas deben contar con un sistema que permita abrirlas desde el interior (sistema antipánico)

- › Las puertas se deben cerrar en forma automática, si proporcionan acceso directo al edificio
- › No deben existir aberturas que permitan el paso accidental de refrigerante, vapores, olores y de cualquier otro gas que se escape hacia otras partes del edificio.

- **Requisitos generales de ventilación:**

- › Las salas de máquinas se deben ventilar de forma natural (mediante ventanas, celosías, etc.) o forzada, hacia el exterior del edificio;
- › La ventilación debe ser suficiente para condiciones de funcionamiento normales de los componentes que constituyen el sistema, instalación frigorífica o en caso de alguna emergencia
- › Garantizar el suministro de aire exterior para renovación, así como también, una correcta distribución en la sala de máquinas, de forma que no existan zonas muertas
- › Instalar conductos para ventilación en aquellos casos que sean necesarios, para garantizar los citados requisitos de suministro y distribución de aire
- › En las salas de máquinas construidas de forma subterránea o en cualquier otra sala de máquinas donde no sea posible ventilación natural, se debe instalar un sistema de ventilación forzada, en todos los casos que exista personal en el interior. El sistema de ventilación deberá proporcionar un caudal volumétrico mínimo de 30 m³/h, por cada persona, o por cada 10 m² de superficie (utilizar como criterio el mayor valor entre ambos)
- › Cuando no exista personal presente en el interior de la sala de máquinas, la ventilación de emergencia se debe controlar automáticamente mediante un detector de refrigerante
- › Salas de máquinas que contienen sistemas que utilizan refrigerante con una mayor densidad que el aire, al menos el 50% del volumen de aire que se está renovando, se debe tomar de los puntos más bajos de la sala y el suministro de aire exterior, estar situado en los puntos más altos
- › Salas de máquinas que contienen sistemas que utilizan refrigerante con una menor densidad que el aire, el volumen mayor de aire que se renueva, debe provenir de los puntos más altos, por lo cual, la entrada de aire exterior se situará en los puntos bajos de

• **Identificación del tipo y cantidad de aceite y refrigerante:**

- › Se debe tipificar y cuantificar el refrigerante y aceite mediante una señal instalada en un lugar visible y cercana del sistema. Las características de la señal son especificadas en la siguiente imagen:



Imagen 57

Características de la señal para caracterizar refrigerante y aceite

Fuente: NCh3241: 2017

Donde:

- › **Cantidad de refrigerante:** Carga inicial de refrigerante al sistema, en kg
- › **Tipo de aceite:** Designación del tipo de aceite especificada por el fabricante.
- › **Cantidad de aceite:** Sumatoria de la cantidad de aceite del o los compresores, separadores de aceite y depósito de aceite, según corresponda, en L.
- › **Fecha de puesta en marcha:** Inicio del funcionamiento integral del sistema, (AAAA-MM-DD).

CAPÍTULO 9

RECOMENDACIONES DE INSTALACIÓN



Todos los componentes que constituyen un sistema (ejemplo: compresor, condensador, evaporador, etc.), incluyendo los sistemas terminados en fábrica, deben ser instalados según las especificaciones técnicas suministradas por su fabricante. Es responsabilidad del prestador técnico de servicio, contar con la información y medios necesarios para la ejecución de los distintos procesos.

ATENCIÓN:

Una correcta instalación define la funcionalidad del sistema a lo largo de su vida útil. Sistemas instalados incorrectamente, tendrán frecuentes fallas.

9.1 COMPRESORES

- Verificar la existencia de todos los componentes suministrados por el fabricante para el funcionamiento del compresor (ejemplo: válvulas de servicio, dispositivos de seguridad, calefactor de cárter, etc.);
- El espacio previsto para la ubicación del compresor debe proporcionar la posibilidad de realizar mantención y ventilación necesaria;
- Realizar el izaje del compresor mediante sus partes disponibles para esta labor (ejemplo: Compresores semiherméticos disponen de una ranura, usualmente ubicada entre los cabezales y la caja eléctrica);
- Considerar la incorporación de antivibradores en la descarga y aspiración, dispuestos de forma perpendicular al eje de vibración;
- Montar el compresor sobre una superficie horizontal nivelada;
- Fijar el compresor en su lugar de instalación, utilizando los soportes suministrados por el fabricante en la ubicación especificada (podrían existir diferencias entre los soportes frontales y traseros), aplicando el torque indicado en el manual de instalación;
- Despresurizar el compresor y retirar válvulas de servicio (válvulas a soldar);
- Los siguientes pasos se deben realizar lo más rápido posible, considerando que el compresor está cargado con aceite, evaluando la posibilidad de instalar tapas en la aspiración y descarga, presurizando el compresor hasta una presión ligeramente superior a la presión atmosférica;
- Realizar las soldaduras de las tuberías a las válvulas de servicio en posición abierta, con un flujo de nitrógeno interno, evitando dañarlas producto de las altas temperaturas generadas en el proceso, considerando la utilización de pastas disipadoras de calor;

- Sustituir empaquetaduras e instalar válvulas de servicio, aplicando el torque indicado en el manual de instalación;
- Realizar la conexión mecánica de todos los dispositivos de control y seguridad considerados en el diseño (ejemplo: Presostato diferencia de aceite, presostato de alta presión, etc.), considerando la incorporación de puertos de servicio;
- Para compresores trifásicos, disponer las barras sobre los bornes de conexión, realizando la configuración eléctrica, según especificaciones del fabricante en función del suministro eléctrico (tensión y frecuencia);
- Utilizar prensas para el paso de cordones eléctricos o fijación de flexibles en la caja de conexiones eléctricas (mantención de la protección eléctrica);
- Conectar las líneas de alimentación a los bornes de conexión del compresor, mediante terminales eléctricos, aplicando el torque indicado en el manual de instalación;
- Realizar las conexiones eléctricas de todos los dispositivos de control y seguridad, incluyendo el calefactor de cárter.

9.2 EVAPORADORES

- **Ubicación:**
 - › Lo más alejado posible de áreas de infiltración de aire y nunca sobre la puerta de la cámara;
 - › Permitir que el patrón del aire cubra completamente la longitud de la cámara;
 - › En evaporadores cúbicos se dejará longitud suficiente hasta la pared trasera, como mínimo la altura del serpentín, para garantizar la entrada de aire al mismo;
 - › Evitar la obstrucción del aire de inyección y retorno al evaporador (relación a estantes, pasillos, iluminación y/o productos);
 - › Minimizar la longitud de líneas frigoríficas y drenaje;
 - › Considerar espacios suficientes para procesos de mantención, recomendado como mínimo un metro perimetral. En el caso de evaporadores con descongelamiento eléctrico es necesario disponer de un espacio suficiente (largo del evaporador) para sustituir los calefactores.
- Fijar el evaporador mediante tornillos o varillas adecuadas para soportar el peso y condiciones interiores de la cámara, utilizando todos los puntos de fijación;
- Despresurizar y conectar las tuberías mediante soldadura fuerte y flujo de nitrógeno interno;

- Incorporar un sifón en la salida del evaporador, distanciado de este, con una longitud horizontal suficiente para instalar el bulbo y ecualización de la válvula de expansión;
- La instalación de ductos o mangas en la salida del aire debe ser considerada en diseño y en consecuencia el evaporador debe estar preparado para tal efecto, especialmente la presión disponible en los ventiladores.

- **Drenaje:**

- › Utilizar la menor longitud posible dentro de la cámara y se debe fijar individualmente;
- › Realizar Inclinación negativa de 3% a favor del flujo;
- › Disponer de un sifón independiente en la salida del drenaje (exterior de la cámara);
- › Si la temperatura donde está instalado el sifón es superior a los 0°C, no es recomendable que disponga de calefactor interno (posible evaporación del agua que realiza el sello hidráulico);
- › Si la temperatura de cámara es menor a 0°C, la tubería de drenaje debe disponer de un calefactor energizado de forma continua, estar aislada térmicamente y fabricada de un material que soporte las condiciones de temperatura generada por el calefactor.

ATENCIÓN:

La obstrucción del drenaje en una cámara de mantenimiento de productos congelados, podría resultar en el bloqueo por hielo del evaporador, perjudicando la funcionalidad del sistema.

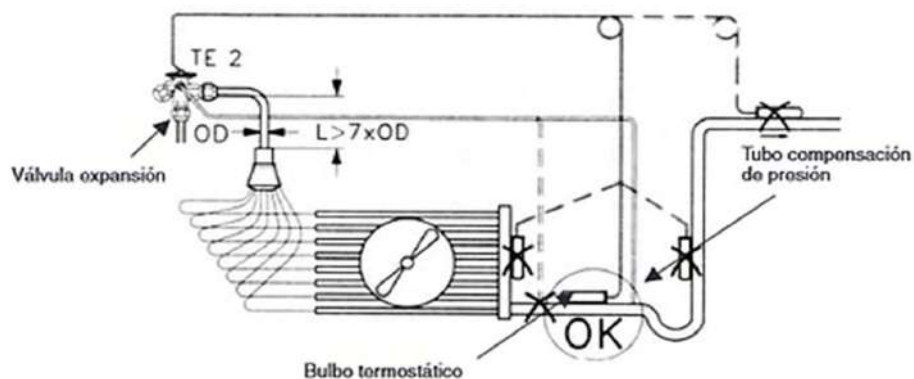
9.3 CONDENSADORES

- Instalar sobre una superficie nivelada, asegurando su correcto anclaje;
- Proporcionar suficiente espacio a lo largo de todo el perímetro para asegurar la circulación adecuada del aire y evitar recirculación;
- La instalación de condensadores en paralelo requiere igual la caída de presión (ejemplo: mediante columnas de líquido);
- En el caso de condensadores remotos, instalar un contra sifón en la entrada para generar un punto más alto que el nivel condensador; además disponer de una válvula en dicho lugar, para eliminar gases no condensables.

9.4 DISPOSITIVOS DE EXPANSIÓN

- **Ubicación de la válvula:**
 - › Instalar la válvula de expansión termostática lo más cercano posible al evaporador;
 - › La entrada de refrigerante al distribuidor de líquido debe ser realizar en posición vertical;
 - › Evitar incorporar curvas entre la válvula de expansión y el distribuidor de líquido;
 - › Evitar altas temperaturas en el proceso de soldadura, protegiendo la válvula mediante paños húmedos;
 - › Regularmente la temperatura de la válvula debe ser mayor a la temperatura del bulbo, para evitar la migración de la carga, en caso necesario aislar el elemento termostático.
- **Ubicación del bulbo:**
 - › Inmediatamente a la salida del evaporador;
 - › En una tubería horizontal;
 - › Posición horaria según el diámetro de la tubería;
 - › Fijado con una abrazadera metálica de cobre o acero inoxidable;
 - › Aislado térmicamente;
 - › Antes de la equalización según el sentido de flujo del refrigerante.
- **Conectar el equalizador en un punto que refleje la presión existente en la línea donde está ubicado el bulbo.**

Imagen 58 :
 Instrucciones de
 instalación bulbo
 termostático fabricante
 Danfoss
 Fuente: www.danfoss.com



9.5 UNIONES

- Realizar las uniones de forma que no sean dañadas por ningún agente exterior;
- Deben ser adecuadas para el tipo de tubería, presión, temperatura y todas las características del fluido a utilizar;

- Sólo si es estrictamente necesario, realizar una unión desmontable. Se recomienda utilizar uniones embridas, por sobre uniones abocardadas, roscadas o de compresión, especialmente cuando se producen vibraciones;
- Con el objetivo de identificar visualmente una unión desmontable en una tubería aislada térmicamente, en cualquier disposición (horizontal y vertical) se debe realizar un marcado exterior con las siguientes características:
 - › Utilizar un material plástico autoadhesivo con sólida adherencia a la superficie del aislamiento térmico
 - › Realizar un marcado por cada unión
 - › La marca debe tener un ancho de 20 mm
 - › El color de la marca debe ser naranja RAL2007

9.5.1 Uniones no desmontables

- De tuberías y fitting de cobre, deben ser realizadas mediante soldadura fuerte (temperatura de fusión del aporte superior a 450 °C), aporte y fundente adecuado, en función de la temperatura y presión de operación, que asegure hermeticidad en el tiempo;
- Al realizar el proceso de soldadura fuerte en tuberías y fitting de cobre, deben ser consideradas como mínimo:
 - › Limpieza exterior e interior de las piezas
 - › Tolerancia máxima entre las piezas a unir de 0,2 mm
 - › Flujo de nitrógeno en el interior de las piezas
 - › Fundente según necesidad, donde al final del proceso deben ser limpiados totalmente sus residuos
 - › En el caso de cualquier unión, la pieza interior debe penetrar como mínimo una longitud, equivalente al 100 % de su diámetro exterior
 - › La tolerancia entre las piezas debe ser ocupado íntegramente por el material de aporte
- En tuberías y fitting de material distinto al cobre, se debe evaluar técnicamente el tipo y proceso de soldadura a utilizar. El prestador técnico de servicio debe realizar la totalidad de los procedimientos técnicos necesario para una correcta ejecución.

9.5.2 Uniones desmontables

- **Uniones embridas:**
 - › Se deben disponer de tal forma, que las partes conectadas puedan desmontarse fácilmente, con una nula o mínima deformación de la tubería
 - › Deben ser sólidas y suficientemente resistentes para evitar cualquier daño a la junta inserta

Imagen 59

**Cuerpo de válvula con
unión brida.**Fuente: www.danfoss.com

- **Uniones abocardadas:**

- › Deben ser utilizadas únicamente en tuberías de cobre cuyo diámetro exterior sea inferior o igual a 19 mm y mayor o igual que 6 mm
- › Se debe tener precaución de realizar el tamaño correcto del abocardado y posteriormente el par utilizado para apretar la tuerca no sea excesivo
- › Es importante que las superficies abocardadas y de deslizamiento sean lubricadas antes de su unión con aceite compatible con el refrigerante

Imagen 60

**Tubería de cobre
abocardada**Fuente: www.electrofret.com

- **Uniones cónicas roscadas:**

- › Solo se deben utilizar para conectar instrumentos de medición, dispositivos de control y seguridad
- › No se deben utilizar materiales de relleno y sellos en las roscas que no estén debidamente probados

9.6 TENDIDOS DE TUBERÍAS

Los tendidos de tuberías tienen un efecto relevante en la fiabilidad del funcionamiento y mantenimiento del sistema, en consecuencia, se debe prestar especial atención en la selección y ejecución de todos los procesos relacionados con su instalación.

- **Soporte y fijación:**

- › Las tuberías se soportarán y fijarán adecuadamente de acuerdo a su diámetro y peso
- › Utilizar materiales específicos según cada requerimiento (tendido de tuberías interiores, exteriores, ambientes salinos, etc.). Además, el tipo de abrazadera utilizada debe estar acorde al material de la tubería, para evitar cualquier tipo de corrosión o daño, y en el caso de tuberías aisladas térmicamente, no influir en las propiedades del aislamiento térmico

- **Golpes de ariete, dilatación y contracción:**

- › Las tuberías que conforman un sistema deben ser instaladas minimizando la posibilidad que un golpe de ariete pueda dañarlas
- › Los golpes de ariete originados por una repentina desaceleración del líquido refrigerante en la tubería se pueden prevenir mediante la selección única o combinada de las siguientes opciones:
 - Instalación de la válvula solenoide de la línea de líquido (alta presión), próxima a la válvula de expansión;
 - Instalación de la válvula solenoide utilizada para el descongelamiento (según sea el caso), próxima al evaporador;
 - Instalación de válvulas de acción lenta.
- › Visualizar en largos trazados, la dilatación y contracción de las tuberías, incluso evaluando la incorporación de algún accesorio

- **Protección contra corrosión:**

- › Las tuberías y aislamiento térmico se deben proteger adecuadamente contra cualquier tipo de corrosión, mediante la utilización de recubrimientos apropiados, según corresponda. En el caso de las tuberías, dicha protección se debe aplicar antes de instalar el aislamiento

- **Retorno de aceite:**

- › La tubería de aspiración juntamente con la velocidad debe ser instalada considerando las siguientes recomendaciones:
 - Una pendiente en la línea de aspiración con disposición horizontal de 1% (1 cm cada 1 m), según el sentido de flujo del refrigerante, siendo aceptable su disposición a nivel
 - Según las características constructivas del sistema, incorporar "sifones" o doble aspiración (según el caso), en tramos verticales ascendentes de la línea de aspiración (compresor(es) en nivel superior al (los) evaporador(es) o nueva elevación), con una separación de 3 m

- **Localización:**

- › No obstruir pasos de libre acceso, vías de evacuación y salidas de emergencia
- › Las uniones y válvulas no deben estar en lugares accesibles a personal no autorizado o indicar visualmente el peligro de manipulación
- › Las tuberías se deben proteger contra calentamientos externos, mediante una adecuada separación respecto otros fluidos (ejemplo: tuberías de agua caliente, tuberías de vapor, etc.)
- › Los recorridos de las tuberías se deben diseñar adecuadamente para minimizar la carga de refrigerante y las pérdidas de carga;
- › Visualizar la necesidad de realizar algún tipo de mantención, por lo cual, es imprescindible otorgar los espacios necesario para dichos procedimientos
- › Galerías y canalizaciones:
 - Los techos falsos deben ser desmontables o tener una altura mínima de 1 m, con respecto al paso del tendido de tuberías, y una amplitud suficiente para permitir la instalación, mantención e inspección, con las pertinentes condiciones de eficacia y seguridad
 - No deben existir tuberías de refrigerante en ductos de ventilación o de aire acondicionado;
 - Galerías de ascensores y montacargas, o cualquier otro espacio que contenga objetos en movimiento
 - En el caso de un tendido de tuberías en una zanja, e independiente del tipo de fundación, se debe realizar un conducto que proporcione la posibilidad posterior de realizar cualquier tipo de mantención. Además, debe contar con características constructivas apropiadas para evitar daños externos al tendido de tuberías
- Las tuberías utilizadas en la conexión de instrumentos para medición, dispositivos de control y seguridad, deben ser como mínimo, resistente a la Pma e instalarse de forma que minimicen las tensiones, vibraciones y corrosiones. En este caso, se recomienda la utilización de tuberías flexibles, por sobre la utilización de tuberías rígidas
- Las líneas de descarga a la atmósfera de los dispositivos para el alivio de presión deben ser instaladas de tal forma que las personas y bienes no sean perjudicadas por la descarga del refrigerante
- Preferentemente se deberán instalar líneas de descarga separadas para los dispositivos para el alivio de presión, perteneciente a sectores de alta y baja presión. Al utilizar una línea de descarga común para varios dispositivos de alivio, la pérdida de carga se deberá calcular considerando la presión de tarado más baja y la simultaneidad de descarga de todos los dispositivos conectados a dicha línea. Mayor información consultar ANSI/ASHRAE 15.

9.7 AISLAMIENTO TÉRMICO

- La superficie del componente o tubería debe estar limpia y seca;
- Instalar el aislamiento térmico asegurándose de una correcta unión en las juntas;
- La utilización de soportes y abrazaderas no debe perjudicar la resistencia a la absorción y difusión del vapor de agua;
- Evaluar el recubrimiento (protección exterior) del aislamiento térmico, al ser instalado a la intemperie;
- Al realizar trabajos próximos a los componentes o tuberías aisladas, se debe tener máxima precaución para no dañar el aislamiento térmico;
- Planificar la instalación del aislamiento térmico, especialmente en las tuberías, de tal forma de realizar la menor cantidad de uniones posibles;
- Utilizar insumos aprobados por el fabricante del aislamiento térmico (ejemplo: pegamento).

9.8 VÁLVULAS DE CORTE

- Los sistemas se deberán implementar con suficientes válvulas de corte a fin de minimizar riesgos y emisiones de refrigerante, particularmente durante la mantención;



Imagen 61

Válvula de bola con puerto de servicio

Fuente: www.danfoss.com

- Las válvulas utilizadas para el corte de flujo, deben evitar, cuando se cierran, la circulación del fluido en cualquier dirección;
- Las válvulas de accionamiento manual que deban accionarse frecuentemente durante condiciones normales de funcionamiento deberán estar provistas de un volante o palanca de maniobra;
- Las válvulas de aislamiento de los componentes a presión y los pertenecientes a sistemas de automatización, deben ser accesibles en todo momento;

- Todos los recipientes que contengan refrigerante en estado líquido con alta presión, en su funcionamiento normal, deben disponer de válvulas de cierre a lo menos en su salida, para que puedan independizarse del resto del sistema. Las válvulas a utilizar deben contar con caperuzas;

Imagen 62

Válvula manual con caperuza

Fuente: www.danfoss.com



- Las válvulas que no deban manipularse mientras el sistema se encuentre funcionando, deben ser instaladas de tal forma de evitar el accionamiento por personas no autorizadas y manipular solamente mediante la utilización de una herramienta manual apropiada. En el caso de válvulas de emergencia, la herramienta se encontrará situada cerca y protegida contra usos indebidos.

9.9 IDENTIFICACIÓN DE TUBERÍAS

- Los tendidos de tuberías deben ser identificados con etiquetas adhesivas o placas. Las cuales deben contener la información del fluido circulante, de tal manera que resulte fácil el seguimiento de la trayectoria de la tubería, con un especial cuidado en bifurcaciones, pasos de paredes, pasillos, válvulas, etc.;
- La punta de la identificación indica el sentido de flujo. Puntas en ambos extremos significa flujo en ambos sentidos.
- Características de las señales de las tuberías de refrigerante:

› El color de fondo de las señales, debe ser color naranja RAL 2007



Imagen 63
Referencia color naranja RAL 2007
Fuente:
Sistema de colores RAL

› El estado del refrigerante se reflejará en las señales detrás de su punta con franja transversal de color, según:

– Tuberías de aspiración: azul RAL 5015.



Imagen 64
Referencia color azul RAL 5015
Fuente:
Sistema de colores RAL

– Tuberías de descarga: rojo RAL 3000.



Imagen 65
Referencia rojo RAL 3000
Fuente:
Sistema de colores RAL

» Tuberías de líquido: verde RAL 6018.



Imagen 66
Referencia verde RAL 6018
Fuente:
Sistema de colores RAL

- El tipo de refrigerante que circula por las tuberías se indicará con su número de identificación según ISO 817;
- Las tuberías de conexión de instrumentos, dispositivos de seguridad, control y la descarga a la atmósfera de válvulas de seguridad no requerirán la identificación complementaria;
- Dependiendo del diámetro exterior de las tuberías y considerando su posible aislamiento térmico, se recomiendan la forma y dimensiones según plano y tabla siguientes:

Imagen 67
 Marcado de tuberías de refrigerantes

Fuente: NCh3241:2017

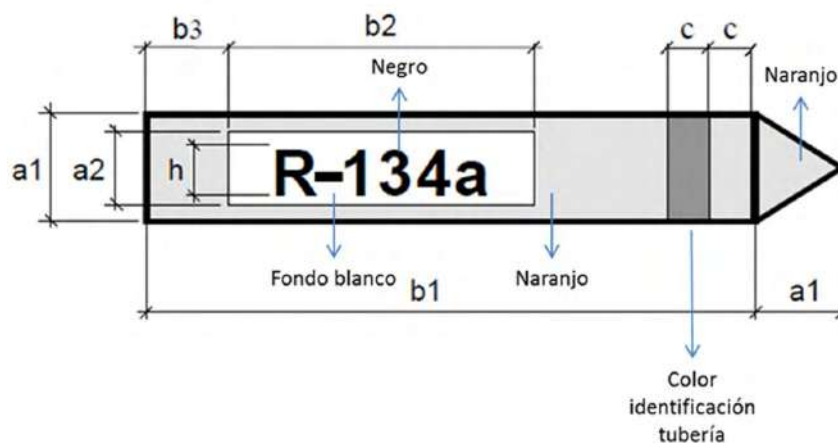


Tabla 13
 Dimensiones en mm
 para el marcado, según
 diámetro de tuberías

Fuente: NCh3241:2017

Diámetro exterior	a1 x b1	a2	b2	b3	c	h
Igual o menor a 2 1/8" o 50 mm	26 x 150	18	75	25	10	12
Mayor a 2 1/8" o 50 mm	52 x 300	36	150	50	20	24

• **Realización de las señales:**

- › El material empleado debe ser de larga duración, resistente a radiación solar y productos químicos
- › Se deben utilizar medios de fijación que garanticen una duradera sujeción a las tuberías
- › Se podrán utilizar materiales plásticos autoadhesivos que peguen sólidamente en superficies frías, calientes y húmedas
- › La identificación para refrigerantes debe ser de color naranja con bordes en negro y una sola punta, salvo en tuberías con flujo en sentido indistinto
- › El recuadro dentro de la señal, destinado a la colocación del número de identificación del refrigerante, debe ser de fondo blanco con bordes en negro
- › Las letras y números deben ser de color negro



Imagen 68

Ejemplo identificación tubería de aspiración, sistema utiliza R-134a

Fuente: NCh3241:2017



Imagen 69

Ejemplo identificación tubería de descarga, sistema utiliza R-134a

Fuente: NCh3241:2017



Imagen 70

Ejemplo identificación tubería de líquido, sistema utiliza R-134a

Fuente: NCh3241:2017

9.10 CIRCUITO ELÉCTRICO DE FUERZA Y CONTROL

- Respetar la normativa local referente a la instalación de circuitos eléctricos (ejemplo: Norma NCh Elec. 4/2003 - Sec);
- Regirse a las especificaciones de diseño, las cuales consideran los requerimientos para la funcionalidad del sistema;
- Separar el cableado de sensores de control del cableado de fuerza, incluso por distintas canalizaciones, para evitar interferencias en la medida de los sensores. Si es posible, utilizar sistemas que, mediante jaula de Faraday, aíslen a los sensores de control;
- Respetar la longitud máxima de cable especificada por el fabricante para los distintos sensores de la instalación. En caso necesario, utilizar sensores capaces de compensar la caída de tensión en los cables de conexión (ejemplo: Sensores de temperatura PT100 de 3 o 4 cables);
- En caso de utilización de dispositivos electrónicos de control de velocidad (convertidores de frecuencia) seguir las recomendaciones del fabricante en los cables de conexionado de fuerza en lo referente a conexionados a tierra, apantallamientos, etc. para evitar interferencias electromagnéticas con otros elementos de la instalación.

9.11 DISPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS DE SEGURIDAD

- **Dispositivos para el alivio de presión:**
 - › Conectar los dispositivos de alivio directamente sobre los recipientes a presión u otro componente que proteja, o según justificación técnica, lo más cerca posible
 - › Deben ser fácilmente accesibles, y salvo cuando protejan contra sobrepresiones por dilatación térmica del líquido, deberán estar conectados en la parte más alta posible, siempre por encima del nivel de líquido
 - › La pérdida de presión entre el componente a proteger y el dispositivo de alivio de presión, no debe ser superior al valor límite indicado por el fabricante del mismo
 - › No deben instalarse válvulas de cierre entre un recipiente a presión u otro componente protegido, y su correspondiente alivio de presión
 - › Facilitar el mantenimiento y comprobación, mediante la incorporación de una válvula conmutadora de tres vías con dos dispositivos de alivio

- **Descarga desde un lado de mayor presión a otro de menor presión:**
 - › Cuando un dispositivo de alivio de presión (excluido los pertenecientes a compresores) descarga de un lado de mayor presión a otro de menor presión del sistema, se deben cumplir las siguientes condiciones:
 - Actuar independiente de la contra presión (presión de salida)
 - El lado de menor presión debe disponer de un dispositivo de alivio de presión
 - La capacidad del dispositivo de alivio del sector de baja presión debe ser capaz de proteger contra una sobre presión simultánea en todos los recipientes y compresores
 - Para comprobar y revisar todos los dispositivos de alivio que contiene un sistema, se deben adoptar todas las medidas necesarias, para que, en cualquier caso, el sistema no quede desprotegido

- **Disposición de los dispositivos de seguridad limitadores de presión:**
 - › No debe existir válvula de corte entre el compresor y el dispositivo de seguridad

9.12 DETECTORES DE REFRIGERANTE

- **Ubicación del sensor:**
 - › Cerca del suelo, en el caso de refrigerantes con una mayor densidad del aire;
 - › Parte superior o techo, en el caso de refrigerantes con una menor densidad que el aire;
 - › Entre 1,6 a 1,8 m, en el caso de refrigerantes con igual densidad que el aire;
 - › Respetar el largo máximo entre el sensor y la unidad de control;
 - › No montar el sensor en una estructura sujeta a vibración (ejemplo: soportes o tuberías), cerca de fuentes de calor y lugares donde pueda formarse condensación;
 - › Para detección puntual lo más cerca posible de la potencial fuga;
 - › Al incluir cualquier método de protección del sensor, este no debe influir en su capacidad de detección.

9.13 CÁMARAS FRIGORÍFICAS Y SALAS DE PROCESO

- Verificar que no existan claros entre los paneles, incluyendo la unión al piso;
- Instalar perfiles sanitarios en el perímetro interno superior e inferior;
- Las juntas de paneles, vidrios u otras partes expuestas al aire exterior, deben ser correctamente selladas;
- Instalar dispositivos de reducción de la infiltración en puertas;
- En el caso de muebles refrigerados abiertos, las estanterías no deben extenderse dentro del plano de la cortina de aire. Si se han especificado cortinas de noche, verifique que estén Incluidas e instaladas correctamente.

CAPÍTULO **10**

ACCIONES PREVIAS A LA PUESTA EN MARCHA



Si es necesario energizar alguna válvula solenoide durante las pruebas de resistencia a la presión, hermeticidad y procedimiento de vacío, es importante asegurar que el compresor no sea energizado, mediante la apertura del circuito de fuerza.

10.1 PRUEBA DE RESISTENCIA A LA PRESIÓN Y HERMETICIDAD

- Antes de la puesta en marcha, el sistema debe someterse a las pruebas de resistencia a la presión y hermeticidad;
- Las pruebas deben ser realizadas por el fabricante del sistema, en el caso de los terminados en fábrica, o en su defecto, por el prestador técnico de servicio, en el caso de sistemas terminados en su lugar de emplazamiento;
- Durante las pruebas todas las uniones deben ser visibles y accesibles para su comprobación;
- Según corresponda, los resultados de todas las pruebas deben ser registrados por el prestador técnico de servicio;
- En la prueba de resistencia a la presión y hermeticidad:
 - › Utilizar nitrógeno seco, no es aceptable la utilización de otros gases, tales como: aire comprimido, refrigerante, etc.;
 - › Como mínimo, para suministrar la presión de prueba se debe disponer de un dispositivo de reducción de presión con un manómetro en la salida ([ver Imagen 32](#)).
 - › Es recomendable el uso de un dispositivo de alivio de presión, el cual debe ser ajustado a una presión superior a la de prueba, pero lo suficientemente baja para prevenir deformaciones permanentes en los componentes del sistema y/o tuberías de interconexión;
 - › Es recomendable comprobar la precisión de los manómetros mediante la comparación con manómetros patrones.

10.1.1 Resistencia a la presión

- **Preparación para la prueba:**
 - › Considerar todas las precauciones adecuadas para proteger al personal contra el riesgo de rotura de los componentes del sistema durante la prueba. Ejemplo: utilizando los elementos de protección personal pertinentes al trabajo;
 - › Las tuberías de interconexión de los componentes que constituyen un sistema deben ser sometidos a una prueba de 1,1 veces la Pma. Mayor información de valores de presión según refrigerantes específicos [ver Tabla 15](#);
 - › La prueba podrá realizarse por partes aisladas del sistema a medida que su instalación se vaya terminando;
 - › Los manómetros conectados permanentemente en el sistema, presostatos (control y seguridad), transductores de presión y otros dispositivos de flujo, podrán ser sometidos a una presión inferiores a 1,1 Pma, justificando técnicamente el valor de

presión a utilizar (ejemplo: el valor máximo de presión que especifica el fabricante del componente);

- › Realizar una prueba previa a una presión de 25 psi en el sector de baja presión y 100 psi en el sector de alta presión, con objeto de localizar y corregir fugas importantes;
- › Las uniones desmontables y no desmontables, sometidas a la prueba deben estar visibles, accesibles y limpias. Las cuales, podrán ser aisladas térmicamente o pintadas, una vez aprobada la prueba de resistencia a la presión y hermeticidad;
- › El sistema deberá ser inspeccionado visualmente antes de aplicar la presión para comprobar que todos los elementos están conectados adecuadamente;
- › Todos los componentes aptos para someterlos a la prueba, deben ser desconectados o aislados mediante válvulas, bridas ciegas, tapones o cualquier otro medio adecuado;
- › La presión en el sistema deberá ser incrementada gradualmente hasta un 50% de la presión de prueba, y posteriormente por escalones de aproximadamente un 10% de la presión de prueba, hasta alcanzar el 100% de ésta. La presión de prueba debe mantenerse en el valor requerido como mínimo durante 30 minutos. Previo a la inspección de toda la instalación, se debe reducir la presión hasta el valor correspondiente a la prueba de hermeticidad. Siempre y cuando, no sea necesario remover alguna brida ciega o tapón, en dicho caso, despresurizar completamente el sistema o parte a intervenir;
- › Posterior a la desinstalación de bridas ciegas o tapones (instalados para facilitar el desmontaje de algún componente de flujo). No es necesario realizar nuevamente la prueba. Al momento de realizar la posterior prueba de hermeticidad, es necesario poner especial atención en los puntos intervenidos.

- **Criterios de aceptación:**

- › No deben producirse deformaciones permanentes o roturas en tuberías, uniones o componentes.

10.1.2 Hermeticidad

- **Preparación para la prueba:**

- › El sistema debe ser sometido a una prueba de hermeticidad, como conjunto o por sectores;
- › Los valores de presión a utilizar en la prueba son indicados en la [Tabla 15](#);
- › Dar atención a los valores máximos de presión permitidos por cada componente del sistema (verificar especificaciones en información técnica suministrada por el fabricante);
- › Todas las uniones de tuberías (desmontable y no desmontables) y componentes deben estar a la vista para su comprobación.

- **Criterios de aceptación:**

- › La presión de prueba debe mantenerse como mínimo 12 horas.

ADVERTENCIA:

Todas las uniones que presenten fugas deberán ser reparadas. Las uniones por soldadura fuerte que presenten fugas deberán ser realizadas nuevamente, y no se podrán reparar utilizando soldadura blanda.

10.2 VACÍO

- El objetivo del proceso de vacío es extraer la humedad y los gases no condensables que permanecen al interior del sistema, previo a la carga de refrigerante;
- No es recomendable utilizar el vacío como prueba única para comprobar la hermeticidad del sistema;
- Utilizar herramientas e instrumentos adecuados ([ver imagen 15](#) e [imagen 21](#)), además de nitrógeno seco para quebrar vacío;
- No es aceptable el uso de compresores (externos o del mismo sistema) y cualquier tipo de refrigerante para reemplazar el nitrógeno
- Sistemas clasificados como Tipo I y II:
 - › Realizar vacío en el sistema a menos de 1000 Micrones de mercurio absoluto. Este vacío se mantendrá como mínimo 30 minutos y después se romperá mediante nitrógeno seco a un valor de presión de 2 a 5 psi, manteniendo esta condición por mínimo 10 minutos;
 - › Realizar nuevamente vacío a menos de 500 Micrones de mercurio absoluto. Este vacío se mantendrá como mínimo 1 hora y después se romperá utilizando el refrigerante del sistema.
- Sistemas clasificados como Tipo III:
 - › Realizar vacío en el sistema a menos de 1000 Micrones de mercurio absoluto. Este vacío se mantendrá como mínimo 01 hora y después se romperá mediante nitrógeno seco a un valor de presión de 2 a 5 psi, manteniendo esta condición por mínimo 30 minutos;
 - › Realizar nuevamente vacío a menos de 500 Micrones de mercurio absolutos. Este vacío se mantendrá como mínimo 12 horas y después se romperá utilizando el refrigerante del sistema.

En el proceso de vacío independiente del tipo de sistema, una vez detenida y aislada la bomba de vacío, existen tres posibles escenarios:

1. Pérdida del nivel de vacío sin estabilización de la lectura del vacuómetro:

Ingreso de aire atmosférico producto de una fisura en algún punto del sistema. Es poco probable alcanzar un nivel de vacío menor a 500 micrones de mercurio en estas condiciones. Nuevamente realizar prueba de hermeticidad ([ver 10.1.1](#))

2. Pérdida del nivel de vacío con estabilización de la lectura del vacuómetro:

Aun existe humedad en el sistema. Romper vacío con nitrógeno hasta una presión de 2 a 5 psi y continuar con el proceso.

3. No existe variación de la lectura del vacuómetro: El sistema está totalmente deshidratado y hermético.

ADVERTENCIA:

El sistema debe mantener el vacío determinado, con la bomba detenida y aislada del sistema.

RECOMENDACIÓN:

Es una buena práctica cambiar el aceite a la bomba de vacío al término de proceso. La contaminación retirada del sistema ahora está en el aceite de la bomba.

10.3 REVISIÓN DEL SISTEMA ANTES DE LA PUESTA EN MARCHA

- Realizar una inspección general, verificando cualquier anomalía que pudiera influir en el correcto desarrollo del trabajo;
- Comprobar que la instalación es coherente a los planos y especificaciones técnicas asociadas a su implementación;
- Es responsabilidad del prestador técnico de servicio verificar como mínimo:
 - › La existencia de la documentación técnica del sistema y/o componentes que lo constituyen
 - › Comprobar todos los dispositivos de seguridad que lo componen
 - › Uniones no desmontables y desmontables conformes con procedimientos aprobados
 - › Tendidos de tuberías para refrigerante y drenajes de agua
 - › Acta de la prueba de resistencia a la presión y hermeticidad
 - › Correcto proceso de vacío
 - › Comprobar la correcta disponibilidad de los suministros necesarios para el funcionamiento (ejemplo: Agua, energía eléctrica, etc.)
 - › Funcionalidad del circuito eléctrico de fuerza y control

- Válvulas de seguridad con descarga al exterior
 - › En las válvulas de seguridad con descarga al exterior, se debe revisar el correcto marcado de la presión de tarado (en el cuerpo o placa de características)
- Dispositivos de seguridad para limitar la presión:
 - › Revisar, donde corresponda, que los dispositivos de seguridad para limitar la presión funcionan y están correctamente ajustados
- Cumplimiento de normativas:
 - › Se debe revisar que los dispositivos de seguridad cumplen con las normas correspondientes, y que han sido probados y certificados por el fabricante

NOTA:

Revisar la documentación con el objetivo de asegurar que el sistema y/o componentes que lo constituyen, cumplen con todos los requisitos técnicos, normas de diseño y otras normativas de la legislación vigente.

CAPÍTULO **11**

CARGA DE REFRIGERANTE



- Antes de cargar refrigerante a un sistema nuevo, se deben haber aprobado las pruebas de resistencia a la presión, hermeticidad y vacío;
- Antes de cargar con refrigerante un sistema, comprobar el contenido del cilindro. La carga de una sustancia inapropiada podría provocar accidentes, entre ellos explosiones;
- Los cilindros de refrigerantes no se deben conectar a un sistema con una presión mayor, tampoco a tuberías con refrigerante líquido cuya presión sea suficientemente mayor para provocar retorno de refrigerante hacia el cilindro. El retorno de refrigerante puede provocar errores de carga y sobrellenar los cilindros, generando un aumento de presión (por dilatación térmica del líquido), pudiendo causar la rotura del cilindro;
- Es responsabilidad del prestador técnico de servicio realizar todas las acciones para evitar que durante la carga de refrigerante, se pueda producir un daño al sistema mismo, personas, bienes materiales y/o al medio ambiente;
- El refrigerante utilizado debe contar con alguna certificación de calidad (ejemplo: AHRI 700);
- Con objetivo de minimizar las pérdidas de refrigerante, las líneas de carga deberán ser lo más cortas posibles y deberán estar provistas de válvulas o conexiones de cierre automático;
- Para los sistemas terminados en fábrica, donde se especifica la cantidad de refrigerante en la placa de características, es obligatorio utilizar este valor como referencia, mediante la utilización de una báscula;
- En el caso de cargar un sistema instalado en el lugar de emplazamiento, se debe cuantificar la cantidad de refrigerante cargado, mediante la contabilidad de cilindros utilizados o la utilización de una báscula;
- La carga de refrigerantes zeotrópicos (ejemplo: R-404A, R-410A, R-407C, etc.) se debe realizar en estado líquido al sistema, en un punto antes del dispositivo de expansión, según el sentido de flujo del refrigerante. Para ello, el sistema debe disponer de una toma de carga en ese punto y una válvula de cierre aguas arriba en la tubería de alimentación de líquido que permita independizar el punto de carga del sector de alta;
- Cargar refrigerante de forma dosificada para evitar sobrecargas, evaluando continuamente las condiciones de funcionamiento del sistema;
- Considerar que una manguera de carga de 3/8" permite pasar un caudal al menos 4 veces mayor que una manguera de 1/4", en igualdad de condiciones;
- Está prohibido dejar permanentemente los cilindros de refrigerante conectados al sistema;
- Cuando la carga de refrigerante máxima admisible en un sistema haya sido sobrepasada, se debe trasvasar parte de la carga a un cilindro reutilizable. Estos deberán ser pesados cuidadosamente durante el trasvase para asegurarse que nunca sobrepase su carga máxima.

A black and white photograph of a server room ceiling. The ceiling is made of dark, rectangular panels. Several circular light fixtures are embedded in the ceiling. A white rectangular vent is visible in the upper right. A network of white conduits and pipes runs across the ceiling, connecting various pieces of equipment. A large white rectangular unit with four fans is mounted on the ceiling. The overall scene is technical and industrial.

CAPÍTULO 12

**PUESTA EN
MARCHA**

El objetivo de la puesta en marcha es que todo el sistema y los componentes que lo constituyen, trabajando en conjunto, funcionen según lo previsto en distintas condiciones (ejemplo: carga térmica parcial o total). Además, si existe un requerimiento de cuantificación de energía, un registro de las características de los componentes en la puesta en marcha puede ayudar a establecer una línea de base de rendimiento para la instalación, tales como:

- Registrar todas las actividades de puesta en marcha realizadas;
- El arranque exitoso y funcionamiento adecuado del sistema puede ser inicialmente verificado revisando las características de los componentes, comprobando que estén dentro de las especificaciones de diseño;
- El informe de puesta en marcha debe incluir documentación del resultado de cualquier prueba o procedimiento técnico realizado;
- Los procedimientos de puesta en marcha de un sistema están directamente relacionados con sus características constructivas y aplicación, es necesario seguir las especificaciones de los fabricantes del sistema y/o componentes, para asegurar la funcionalidad del sistema y su longevidad. Sin embargo y, frecuentemente en sistemas armados en su lugar de emplazamiento (ejemplo: cámaras de refrigeración, salas de proceso, etc.) los prestadores técnicos de servicio deben diseñar sus protocolos de puesta en marcha, según corresponda;
- Los siguientes puntos entregan una comprobación general para desarrollar dichos procedimientos:

12.1 CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO



La evaluación del sistema en la puesta en marcha verifica que el sistema trabaje según lo previsto en las bases de diseño, verificando su funcionalidad y requerimiento energéticos. Además, otorga la posibilidad de visualizar potenciales fallas no identificadas durante los procesos previos a la puesta en marcha.

- **Compresor:**
 - › Presión de aspiración y descarga
 - › Temperatura de descarga
 - › Temperatura de aspiración
 - › Sobrecalentamiento de aspiración
 - › Temperatura de cárter
 - › Presión diferencial de la bomba de aceite
 - › Nivel de aceite
 - › Ciclos del compresor y descargador de capacidad, si aplica
 - › Velocidad del compresor, si dispone de variador de frecuencia
 - › Tensión
 - › Corriente
 - › Frecuencia

- **Condensador, medio condensante aire:**
 - › Sentido de rotación de ventiladores
 - › Velocidades y perfiles operativos para cada ventilador del condensador
 - › Temperaturas de bulbo húmedo y seco del aire ambiente
 - › Presión y temperatura entrando al condensador

- **Condensador, medio condensante agua:**
 - › Temperatura de entrada y salida del agua
 - › Caudal
 - › Circuito y componentes de enfriamiento del agua

- **Evaporador:**
 - › Sentido de rotación de ventiladores
 - › Caudal de aire
 - › Sobrecalentamiento generado por la válvula de expansión
 - › Subenfriamiento en la entrada de la válvula de expansión
 - › Temperatura de inyección de aire

- **Depósito y línea de líquido:**
 - › Nivel de refrigerante
 - › Subenfriamiento a la salida del depósito de líquido
 - › Caída de presión en tuberías y filtros

- **Circuito de aceite:**
 - › Separador de aceite
 - › Depósito de aceite
 - › Controles de nivel
 - › Filtros de aceite

- **Funcionalidad:**
 - › Rango de temperatura durante la refrigeración
 - › Rango de temperatura durante el descongelamiento

- **Caídas de presión entre:**
 - › La salida del evaporador y la aspiración del compresor
 - › Depósito de líquido y la entrada de la(s) válvula(s) de expansión termostática o válvula(s) de expansión electrónicas
 - › Descarga del compresor y entrada al condensador
 - › Salida del condensador y entrada al depósito de líquido

- **Estrategias de control:**
 - › Control de presión de aspiración flotante, el cual debe satisfacer el requisito de operación de evaporadores y pérdidas de carga

- › Control de presión de aspiración fija, el cual debe estabilizarse en o ligeramente por encima de la presión de diseño ajustada en la consigna

12.2 COMPROBACIÓN DE LA CAPACIDAD FRIGORÍFICA DEL SISTEMA

- Realizar una verificación aproximada de la capacidad del sistema. Las cámaras, salas de proceso y muebles, cargados con producto y en condiciones normales de uso, deben como mínimo alcanzar las temperaturas de consigna consideradas en diseño.
- En una segunda etapa, se puede comprobar el tiempo de funcionamiento del compresor, el cual debiera funcionar entre 14 a 18 horas diarias. En un sistema subdimensionado el compresor trabajará prácticamente de forma constante, sin detenciones.

12.3 DISPOSITIVOS DE CONTROL Y SEGURIDAD

- Verificar todos los sensores de presión y temperatura perteneciente al sistema. Los sensores deben realizar una lectura correcta, verificando esta condición con sensores independientes de mayor precisión.
- Verificar las conexiones entre los sensores y controladores, desconectando cada sensor individualmente y comprobando que el controlador reconoce el estado "desactivado" o "abierto" del sensor.
- Comprobar el correcto funcionamiento de:
 - › Presostato de baja presión, utilizado en la configuración "Pump Down" (rearme automático)
 - › Presostatos de baja presión, utilizados para el control de capacidad del compresor o compresores
 - › Presostatos de alta presión, utilizados para el control de presión de condensación (rearme automático)
 - › Presostato de alta presión (rearme manual), utilizados para la seguridad del compresor
 - › Presostato diferencial de aceite
 - › Relé térmico
 - › Guarda motor
 - › Modulo protector contra altas temperatura de bobinado
 - › Termostato de descarga
 - › Reguladores de presión:
 - Aspiración
 - Evaporación
 - Condensación

NOTA:

La escala de regulación incorporada en los presostatos es indicativa y normalmente no corresponde a los valores reales de regulación. Por esta razón, la regulación precisa de los presostatos se debe realizar mediante nitrógeno, un manómetro reductor y un manómetro calibrado. Se debe registrar en la documentación de la puesta en marcha los valores de regulación (conexión y desconexión) de cada presostato. Descripción del procedimiento [ver 17.6](#)

12.4 TENDIDO DE TUBERÍAS

- Verificar que no existan vibración y fricción en las tuberías, las cuales podrían conducir al debilitamiento de la tubería.
- Comprobar el correcto aislamiento térmico y marcado.
- Verificar fugas de refrigerante mediante huellas de aceite.

12.5 DESCONGELAMIENTO

- Verificar que todos los ciclos de descongelación (intervalos de refrigeración, según el caso) se realizan de acuerdo a la secuencia en el diseño:
 - › Inicio y fin del aporte energético (calefactores, gas caliente o latente)
 - › Tiempo de drenaje
 - › Tiempo y temperatura retardo ventiladores del evaporador
- Si el sistema utiliza descongelamiento a demanda, comprobar que el sistema inicia el descongelamiento de acuerdo a la estrategia de control y puntos de ajuste.
- Medir tensión e intensidad de corriente en los calefactores de descongelamiento.
- Comprobar la operación de las válvulas involucradas en un deshielo por gas caliente o latente.

12.6 INFILTRACIONES DE AIRE

- Inspeccionar visualmente el exterior de la cámara, observando la existencia de agua proveniente de la condensación de la humedad ambiente, lo cual indica una fuga del aire interior.
- Verificar que todas las puertas cierren y sellen adecuadamente.

- Si es posible, mediante una cámara termográfica detectar fugas de aire. Las áreas clave para escanear incluyen lo siguiente:
 - › Sellos de puertas y ventanas
 - › Juntas de paneles
 - › Perforaciones para el paso de tuberías de refrigerante, drenajes y conductos eléctricos
- Considerar la posibilidad de realizar pruebas de humo para comprobar hermeticidad.

12.7 USO EFICIENTE DE ENERGÍA

- Comprobar la correcta operación del sistema de recuperación de calor.
- Verificar el funcionamiento de cualquier técnica de recolección de datos que cuantifique las características operativas del sistema y subsistemas analizados.

12.8 ALARMAS

- Alta y baja temperatura de cámara;
- Puerta abierta;
- Presión de descarga;
- Presión de succión;
- Fugas de refrigerante;
- Nivel bajo de refrigerante en el depósito de líquido;
- Aceite en el compresor.

12.9 DOCUMENTACIÓN DE ENTREGA

El prestador técnico de servicio debe entregar al titular del sistema, toda la documentación relativa al diseño, instalación, puesta en marcha y certificados e instrucciones técnicas de los componentes utilizados en la implementación. Es responsabilidad del titular del sistema exigir dicha información, la cual debe estar disponible para futuras consultas o actualizaciones. La documentación debe contener, entre otras:

- Descripción del sistema.
- Diagrama de flujo del circuito frigorífico.

- Planos con el tendido de tuberías.
- Planos y diagramas del circuito eléctrico de fuerza y control.
- Descripción de los dispositivos de control y seguridad
- Memoria de cálculo, la cual como mínimo debe incluir:
 - › Presión y temperaturas de diseño
 - › Cálculo de carga térmica
 - › Selección de componentes frigoríficos y eléctricos
 - › Selección de diámetros de tuberías y caídas de presión
 - › Selección del aislamiento térmico
 - › Factores de simultaneidad
 - › Estimación de la carga de refrigerante

NOTA:

En la actualidad existen softwares de diseño que entregan la posibilidad de generar un reporte de todo el proceso de selección de componentes del sistema, incluyendo sus especificaciones técnicas. Ejemplo: Software de selección de compresores GEA Bock - VAP o CoolSelector de Danfoss

- Valores de ajuste de todos los dispositivos de control y seguridad:
 - › Presostatos de control y seguridad
 - › Termostatos de control y seguridad
 - › Parámetros de control (ejemplo: intervalos para descongelamiento, temperaturas finales del descongelamiento, etc.)
 - › Presostatos diferenciales
 - › Parámetros para el control de capacidad en compresores y condensadores.
 - › Dispositivos de seguridad por sobrecarga eléctrica
 - › Temporizadores
- Certificados de calidad de los componentes y materiales utilizados en la implementación del sistema.
- Certificado de calidad del refrigerante.
- Resultados de la prueba de resistencia a la presión, hermeticidad y vacío.
- Manual de usuario y procedimientos.
- Resumen de las normativas vigentes, aplicable en el diseño, armado e instalación del sistema.



CAPÍTULO 13

**MANTENCIÓN
DEL SISTEMA**

- El mantenimiento preventivo y correctivo de los distintos sistemas, así como las revisiones periódicas, se deben realizar por un prestador técnico de servicio competente;
- El prestador técnico de servicio debe contar con todos los medios ([ver capítulo 6](#)) necesarios para la ejecución de los trabajos, de acuerdo a las características constructivas y lugar de emplazamiento del sistema;
- Los distintos niveles de mantención deben ser realizados por personal que cuente con las competencias laborales pertinentes;
- Es responsabilidad del titular del sistema exigir al prestador técnico de servicio un informe y cualquier documentación derivada de la ejecución de un procedimiento de servicio, dicha información será utilizada para completar la bitácora del sistema;
- Las operaciones de mantenimiento preventivo o correctivo que requieran la asistencia de personal acreditado de otras profesiones (ejemplo: soldadores, electricistas, etc.) preferentemente deben ser realizadas bajo la supervisión de un prestador técnico de servicio con especialidad en refrigeración;
- Cada sistema deberá ser sometido a un mantenimiento preventivo de acuerdo al manual de instrucciones especificado por el fabricante del sistema, componentes u otras especificaciones generadas por prestador técnico de servicio;
- El prestador técnico de servicio contratado para el mantenimiento por el titular del sistema debe garantizar que supervisará regularmente el sistema, y la mantención se realizará de acuerdo a directrices técnicas aprobadas y buenas prácticas.

13.1 MANTENCIÓN PREVENTIVA

Las acciones a realizar en un proceso de mantención preventiva derivan de muchos aspectos, tales como la aplicación del sistema, características constructivas, lugar de emplazamiento, y especificaciones técnicas indicadas por el fabricante del sistema o componente. Sin embargo, en el caso de no existir una directriz específica, se recomienda ejecutar como mínimo las siguientes labores:

- Verificación de todos los aparatos de medida;
- Comprobación de los dispositivos de control y seguridad;
- Control de fugas y posibles roturas;
- Control de los rendimientos energéticos;
- Verificación de los suministros necesarios para el funcionamiento del sistema;
- Limpieza de los intercambiadores de calor;
- Verificación y cambio (si procede) de aceite a los compresores.
- Lubricación de partes móviles;

- Limpieza del circuito eléctrico de fuerza y control;
- Reapriete de terminales eléctricos;
- Medición de magnitudes de funcionamiento;
- Limpieza de tubería de drenaje
- Fluidos secundarios o auxiliares:
 - › Cuando se utilice un sistema indirecto de enfriamiento o calentamiento, el fluido secundario debe ser revisado periódicamente, en cuanto a su composición, limpieza y la posible presencia de refrigerante. De igual manera se debe proceder con los fluidos auxiliares utilizados en recuperadores de calor, condensadores, subenfriadores y enfriadores de aceite.

13.1.1 Cambio de aceite

Para realizar el cambio de aceite a compresores frigoríficos, se deben considerar como mínimo las siguientes indicaciones:

- Utilizar el tipo y cantidad de aceite especificado por el fabricante del compresor;
- Procedimiento para aislar el compresor del sistema:
 - › Cerrar la válvula de servicio de aspiración
 - › Cuando el compresor se detenga por baja presión, desenergizar el circuito de fuerza
 - › Cerrar la válvula de servicio de descarga
- Antes de retirar el tapón de drenaje de aceite, se debe despresurizar el cárter del compresor hasta la presión atmosférica;
- La mayor parte de los compresores semiherméticos alternativos, disponen de un filtro de malla en el tapón de drenaje de aceite. Dicho filtro debe ser retirado cuidadosamente y limpiado según corresponda;
- Realizar el trabajo en un área ventilada. En ambientes cerrados proporcionar ventilación adicional;
- Evitar la presencia de cualquier tipo de llama abierta;
- Según factibilidad, retirar el aceite de separadores de aceite y depósitos de aceite;
- Reinstalar filtro, sellos y tapones;
- Cargar el aceite al compresor mediante una bomba manual ([ver Imagen 26](#)) o por diferencia de presión;
- Realizar vacío a los componentes intervenidos;
- Procedimiento para reincorporar el compresor al sistema:
 - › Abrir la válvula de servicio de descarga
 - › Energizar el circuito de fuerza
 - › Abrir lentamente la válvula de servicio de aspiración
- Analizar el aceite usado mediante una prueba de acidez. Efectuar medidas correctivas en función de los resultados obtenidos;
- El aceite usado debe ser entregado a un gestor de residuos autorizado, no debe ser vertido en alcantarillas, canales, ríos, aguas subterráneas o en el mar.

Imagen 71

Filtro de aceite de un compresor semihermético alternativo

Fuente: Elaboración propia



Imagen 72

Evaluación de aceite POE mediante una prueba de acidez (Test de acidez)

Fuente: Elaboración propia



NOTA:

Al realizar cambio de aceite al compresor se debe sustituir como mínimo el filtro deshidratador de la línea de líquido. Según corresponda, verificar la posibilidad de reemplazar el filtro de aspiración y filtro de aceite.

13.1.2 Aislamiento térmico

Al igual que los demás componentes del sistema, el aislamiento debe ser objeto de un mantenimiento específico adecuado, que como mínimo comprenderá las siguientes operaciones:

- Revisión semestral de la suportación de cámaras, estado de juntas y uniones con el suelo;
- Comprobación del funcionamiento de las válvulas de sobrepresión de las cámaras;

- Verificación del funcionamiento de la resistencia y hermeticidad de la puerta, cierres, bisagra, apertura de seguridad, etc.;
- Retirada del hielo existente alrededor de las válvulas de sobrepresión, suelo y puertas;
- Revisión semestral de los soportes de las tuberías y de la formación de hielo y condensaciones superficiales no esporádicas;
- Revisión de la apariencia externa del aislamiento. En caso de que se produzca deterioro, especialmente el que afecte a la barrera de vapor, deberá ser corregido con la mayor rapidez posible, antes que aumente la magnitud del daño y afecte la funcionalidad del sistema o produzca cualquier otro tipo de daño.

13.2 MANTENCIÓN CORRECTIVA

La sustitución o reparación de componentes que contengan refrigerante, deben ser realizados asegurando el cumplimiento de las directrices técnicas suministradas por el fabricante del sistema y/o componentes, restableciendo satisfactoriamente la funcionalidad del sistema. A continuación, se especifica una secuencia genérica para un procedimiento determinado:

- Obtener permiso escrito del titular para realizar la reparación;
- Informar al personal usuario del sistema;
- Evaluación previa del problema que genera la sustitución o reparación componente;
- Desenergizar el sistema o el componente del sistema a intervenir;
- Aislar los componentes a sustituir o reparar;
- Extraer el refrigerante del componente o tramo a intervenir;
- Limpiar o hacer barrido únicamente utilizando nitrógeno seco y algún solvente aprobado;
- Realizar la reparación o sustitución del componente;
- Sustituir como mínimo filtro deshidratador de la línea de líquido;
- Las partes intervenidas del sistema deben ser sometidas a la correspondiente prueba de hermeticidad.
- Realizar vacío en el componente o tramo del sistema intervenido;
- Restablecer la comunicación con el resto del sistema;
- Reponer el sistema;
- Ajustar la carga de refrigerante según necesidad;
- Verificar la funcionalidad de los componentes reparados o sustituidos. Además de todos los instrumentos de medida, control, seguridad;
- Entregar informe técnico al titular del sistema que especifique los procedimientos y resultados obtenidos;
- Registrar procedimiento en la bitácora del sistema;
- Al final del procedimiento se debe conocer el origen del problema que generó la

necesidad de sustitución o reparación, lo cual debe ser corregido para evitar fallas consecutivas, las cuales incrementan los costos de operación del sistema y generar potenciales emisiones de refrigerante a la atmósfera.

13.2.1 Limpieza del sistema (Flushing)

- El circuito frigorífico debe limpiarse total o parcialmente, como mínimo en las siguientes condiciones:
 - › Descomposición y/o carbonización del aceite
 - › Corrosión interna del compresor
 - › Contaminación del refrigerante por quemado de motor (compresor hermético o semihermético)
 - › Ingreso de agua
 - › Alto grado de acidez del aceite
 - › Contaminación por residuos sólidos
 - › Cuando sea necesario cambiar el tipo de aceite por cambio del tipo de refrigerante
- Se podrán emplear, entre otros, los siguientes procedimientos de limpieza en función de la necesidad:
 - › Productos químicos evaporables a presión atmosférica, en circuito abierto, impulsados únicamente con nitrógeno seco
 - › Productos químicos evaporables a presión atmosférica, en circuito cerrado, con una máquina que genere el recirculamiento
 - › Filtros antiácidos y sucesivos cambios de aceite

ADVERTENCIA:

Es responsabilidad del prestador técnico de servicio desechar los residuos generados por los distintos procedimientos de limpieza, según la normativa vigente.

NOTA:

Según el caso, se debe utilizar el procedimiento de limpieza que produzca el menor impacto al medio ambiente.



.....
CAPÍTULO **14**

**PROGRAMA DE
REDUCCIÓN Y
PREVENCIÓN DE
FUGAS**

- Los sistemas se deben armar e instalar aplicando todas las medidas factibles y económicamente viables, para evitar la posterior emisión de refrigerante a la atmósfera. Por otro lado, las características e instalación del sistema, deben permitir la rápida reparación de una fuga existente;
- No se debe recargar un sistema sin haber localizado y reparado la fuga de refrigerante;
- La siguiente tabla indica la frecuencia de revisión de fugas en función del tipo de sistema:

Tabla 14 :
Frecuencia de
revisión de fugas
Nota: NCh3241:2017 :

TIPO DE SISTEMA	FRECUENCIA DE REVISIÓN
Tipo I	Exentos de control
Tipo II con una carga menor o igual a 13 kg.	
Tipo II con una carga mayor a 13 kg. Tipo III con una carga menor o igual a 300 kg.	Cada 12 meses
Tipo III con una carga mayor a 300 kg	Cada 6 meses

- Si el sistema presenta continuas fugas o roturas, se debe duplicar la frecuencia de las revisiones anteriormente indicadas;
- En el caso de un sistema Tipo III con una carga igual o mayor a 300 kg, además de la revisión de fugas, se debe comprobar el correcto funcionamiento del sistema de detección de fugas;
- Según información contenida en la bitácora del sistema, prestar especial atención a las áreas problemáticas o que han presentado fugas anteriormente;
- Realizar una verificación general del sistema, prestando especial atención a:
 - › Capacidad de enfriamiento deficiente
 - › Ruidos o vibraciones anormales;
 - › formación de hielo inusual;
 - › Señales visuales de corrosión, huellas o fugas de aceite, y daños en componentes o materiales, en particular en las zonas más propensas a fugar como uniones desmontables, válvulas, etc.
 - › Visores o indicadores del nivel de refrigerante;
 - › Daños en elementos de seguridad como presostatos, válvulas de seguridad, conexiones de sensores, etc.
 - › Magnitudes de funcionamiento que puedan revelar condiciones anormales;
 - › Zonas donde se han producido fugas con anterioridad, o hayan sido reparadas o intervenidas;
 - › Cualquier signo de pérdida de refrigerante.

14.1 DETECCIÓN DE FUGAS

14.1.1 Procedimiento directo

- Revisar el historial del sistema y comprobar sistemáticamente los potenciales puntos de fuga, considerando como mínimo:
 - › Uniones desmontables;
 - › Válvulas incluyendo vástagos;
 - › Partes del sistema sujetas a vibraciones;
 - › Filtros;
 - › Conexiones a los elementos de seguridad y control.
- Las fugas se deben identificar mediante métodos aprobados, los cuales incluyen:
 - › Soluciones espumosas;
 - › Detectores electrónicos de refrigerante ([ver imagen 18](#));
 - › Localizadores de fugas por ultrasonidos (método solo válido para fugas importantes);
 - › Fluidos trazadores (detección por lámparas ultravioletas).
- Cualquier instrumento o producto para la detección de fugas, debe como mínimo tener una sensibilidad de 5 gr/año.

NOTA:

Al identificar la existencia de fugas, se deben comprobar todos los elementos del sistema, y si fuera necesario, se extraerá el refrigerante y se realizará la prueba de hermeticidad.

ADVERTENCIA:

La aplicación de fluidos trazadores se recomienda utilizar como última medida. Además, deberá estar autorizada por el fabricante del sistema o componentes que lo constituyen.

14.1.2 Procedimiento indirecto

- Evaluar la existencia de fugas por métodos indirectos que reflejen confiablemente la carga insuficiente de refrigerante, mediante el análisis de mínimo las siguientes magnitudes de funcionamiento y condiciones del sistema:
 - › Presión;
 - › Temperatura;
 - › Sobre calentamiento y subenfriamiento;
 - › Consumo energético;
 - › Intensidad de corriente;
 - › Nivel de refrigerante en el depósito de líquido;
 - › Temperatura del proceso.

14.2 REPARACIÓN DE DEFICIENCIA, INFORME Y REGISTRO

- En el caso de detectarse fugas leves (menor al 5% de la carga total del sistema) se deben reparar lo antes posible, indicando origen y trabajos relacionados para su solución en la bitácora del sistema;
- Al detectar alguna deficiencia significativa del sistema, registrar la información en la bitácora e informar al titular del sistema, quien deberá proporcionar todas las facilidades para una pronta reparación. Ejemplo:
 - › Elementos del sistema en mal estado o que conlleven riesgo de fugas;
 - › Fugas reiteradas en algún punto de la instalación que hubiera fugado con anterioridad;
 - › Fugas significativas o recargas de refrigerante mayores del 5% de la carga total desde la última revisión.

CAPÍTULO **15**

**REQUISITOS PARA
LA ELIMINACIÓN
DE REFRIGERANTES
Y COMPONENTES
CONTAMINADOS AL
FINAL DE LA VIDA
ÚTIL DEL SISTEMA**



- **Refrigerantes CFC, HCFC, HFC y HFO:**
 - › Los refrigerantes cuya reutilización esté prohibida, o no sea posible su reciclaje o regeneración, deben ser entregados a un gestor de residuos autorizado para su eliminación (ejemplo: centro de regeneración).

- **Aceites de compresores frigoríficos:**
 - › El aceite usado extraído de un compresor o sistema debe ser almacenado en un recipiente adecuado, y eliminado de manera segura mediante un gestor autorizado.

- **Otros componentes desechables:**
 - › Asegurar la correcta eliminación de otros componentes desechables del sistema, aunque no contengan refrigerante y aceite.

- **Desmantelamiento:**
 - › Una vez finalizada la vida útil del sistema, se debe realizar la recuperación del refrigerante y aceite antes de proceder al desmontaje o desarme final. Todos los resultantes del proceso deben ser entregados a gestores de residuos autorizados.

A close-up photograph of a technician's hands working on a white air conditioning unit. The technician is holding a silver tablet in their left hand and a blue and orange screwdriver in their right hand. The background shows the interior of the AC unit with various components and a control panel.

CAPÍTULO **16**

**RESPONSABILIDADES
DE PRESTADORES
TÉCNICOS DE
SERVICIO Y TITULARES
DEL SISTEMA**

16.1 PRESTADORES TÉCNICOS DE SERVICIO

- **Instalación de un sistema y puesta en marcha:**
 - › Los componentes y materiales suministrados deben ser adecuados a las condiciones de trabajo previstas, y cumplan la normativa vigente;
 - › Realización y certificación de las pruebas de resistencia a la presión y hermeticidad;
 - › Correcta realización del proceso de vacío;
 - › Adecuada manipulación de refrigerantes, evitando las emisiones a la atmósfera;
 - › Verificar el correcto funcionamiento de los elementos de seguridad del sistema;
 - › Alcanzar las condiciones de diseño del sistema;
 - › Entregar al titular la documentación del sistema y los componentes que lo constituyen, resultado de las pruebas e incluso suministrar Instrucciones técnicas complementarias;

- **Mantenimiento de un sistema:**
 - › Verificar el buen estado de funcionamiento de los elementos de seguridad del circuito frigorífico;
 - › Informar por escrito al titular de las deficiencias detectadas, que puedan afectar la seguridad y funcionalidad del sistema;
 - › Asegurar que la bitácora del sistema esté correctamente actualizada, registrando detalladamente todas sus intervenciones;
 - › Justificar técnicamente al titular cualquier cambio que se estime necesario introducir en el funcionamiento del sistema, documentándolo en planos, esquemas e instrucciones;
 - › Al sustituir un sistema, componentes o piezas de los mismos, los nuevos elementos deben cumplir las similares especificaciones técnicas y normativas vigentes;
 - › Cuando la condensación del sistema esté equipada con torres de refrigeración de agua o condensadores evaporativos, deberá facilitar, mediante la ejecución de los trabajos que le correspondan, la aplicación de las normativas sanitarias vigentes;
 - › Diseñar y realizar el programa de reducción y prevención de fugas, según corresponda
 - › Asegurar la correcta manipulación de refrigerantes y según el caso, la entrega a un gestor de residuos autorizado

NOTA:

En cada instancia, el prestador técnico de servicio debe estar debidamente capacitado y en lo posible certificado para desarrollar los trabajos relacionados, estableciendo métodos de trabajo y controles necesarios para asegurar el cumplimiento de las normativas vigentes. Además, debe utilizar todas las herramientas, instrumentos y elementos de protección personal necesarios para la segura y correcta ejecución de sus labores.

16.1.1 Responsabilidad del titular de un sistema

El titular será responsable como mínimo en la instalación y mantención de un sistema, de los siguientes puntos:

- Contratar a prestadores técnicos de servicio que puedan cumplir como mínimo con los puntos descritos anteriormente;
- Conservar y disponer toda la documentación entregada por el prestador técnico de servicio;
- Utilizar los sistemas dentro de los límites de funcionamiento previstos y cuidar que se mantengan en perfecto estado de funcionamiento, impidiendo su utilización cuando no ofrezcan las debidas garantías de seguridad para las personas, bienes o el medio ambiente;
- Mantener al día la bitácora del sistema:
 - › Componentes sustituidos (marca, modelo y procedencia);
 - › Fecha de mantenciones e inspecciones de fugas;
 - › Las revisiones obligatorias y voluntarias, así como las reparaciones realizadas, deben ser registradas en detalle por el prestador técnico de servicio que las efectuó.



CAPÍTULO 17

ANEXOS DE APLICACIÓN

17.1 MÉTODO PARA DETERMINAR EL LLENADO MÁXIMO DE CILINDROS DE RECUPERACIÓN

El cálculo del llenado máximo en kilogramos de un cilindro, puede ser determinado según la siguiente expresión:

$$C_{\text{máx}} = DR * CA * FS$$

Donde:

- › $C_{\text{máx}}$: Capacidad máxima de llenado del cilindro en kg
- › DR: Densidad relativa, expresada como el cociente entre la densidad del refrigerante y la densidad del agua, ambas en kg/m³
- › CA: Capacidad de agua en peso del cilindro en kg. Dicha información es indicada por el fabricante en el mismo cilindro
- › FS: Factor de seguridad recomendado 0,8 (80%)

• Para realizar el cálculo considerar:

- › 1.000 kg/m³ como la densidad del agua a 4°C
- › La densidad en kg/m³ de los siguientes refrigerantes en estado líquido a 52°C:
 - » R-134a = 1.094
 - » R-22 = 1.074
 - » R-404A = 785
 - » R-507A = 883

• Ejemplo:

Calcular el llenado máximo de un cilindro de recuperación cuya capacidad de agua es 21,6 kg (47,6 libras) y será utilizado para recuperar R-22.

$$C_{\text{máx}} = (1.074 / 1.000) \text{ kg/m}^3 * 21,6 \text{ kg} * 0,8 \Rightarrow \text{El resultado es } \mathbf{18,56 \text{ kg.}}$$

17.2 VALORES DE PRESIÓN RECOMENDADOS PARA PRUEBAS Y AJUSTES, EN FUNCIÓN DE LA PMA CON DISTINTOS REFRIGERANTES

Para un condensador que utiliza como medio condensante aire a una temperatura de 35°C y un evaporador expuesto a la temperatura interior de cámara (ambas condiciones de diseño), considerar los valores de presión en psi indicados en la siguiente tabla:

Tabla 15
Valores de presión recomendados para pruebas y ajustes
 Fuente: Elaboración propia

	R-134a	R-22	R-404A	R-507A
Pma para sector de alta presión con condensador enfriado por aire (59°C saturación)	222	324	389	401
Presión para la prueba de resistencia a la presión (1,1 * Pma) sector de alta presión	242	356	428	441
Presión de prueba de estanquidad (0,95 * Pma) sector de alta presión	210	307	370	380
Pma Sector de baja presión con intercambiado de calor expuesto la temperatura interior (33°C saturación)	107	171	207	213
Presión para la prueba de resistencia a la presión (1,1 * Pma) sector de baja presión	117	188	228	234
Presión de prueba de estanquidad (0,95 * Pma) sector de baja presión	101	162	197	202
Ajuste del presostato de alta seguridad (sistema con dispositivo de alivio - 0,9 * Pma)	200	291	350	360

Los valores de presión indicados para las pruebas de resistencia a la presión y hermeticidad, son principalmente orientados para ser utilizados en las tuberías de interconexión de componentes, considerando que los componentes disponen de comprobación en fábrica. En caso contrario, utilizar el criterio indicado con la precaución de no exponer el componente a valores de presión mayores que los determinados por el fabricante. Además, se debe tener un especial cuidado con los dispositivos de control y sensores de presión (transductores), los cuales podrían exceder su valor máximo de presión, en dicho caso, desconectar del sistema o aislar con una válvula de corte manual, según posibilidad. Respecto a la presión de ajuste para el presostato de alta seguridad (rearme manual) el prestador técnico de servicio debe verificar que el valor de indicado sea menor que el máximo admisible por el compresor, según su límite de aplicación.

NOTA:

En el caso del R-404A, los valores de presión corresponden al punto de rocío.

17.3 SELECCIÓN DE TUBERÍAS



Los diámetros de las líneas frigoríficas deben ser seleccionados utilizando como criterios técnicos la velocidad del refrigerante y su caída de presión. La velocidad del refrigerante debe ser lo suficientemente alta para arrastrar el aceite hacia el compresor y lo suficientemente baja para no generar pérdidas excesivas de presión. Las indicaciones sobre la caída de presión normalmente son especificadas en una variación de temperaturas de saturación. La correcta selección de los diámetros es relevante en todos los casos. Sin embargo, la selección de la línea de aspiración es significativamente más crítica para la funcionalidad y eficiencia energética del sistema.

	Velocidad (m/s)	Máxima caída de presión equivalente en temperatura saturada (K)
Aspiración	6 - 14 (mínimo 8 en verticales ascendentes)	1
Descarga	6 - 14	1
Líquido (depósito de líquido - válvula de expansión)	0,6 - 1,2	0,5

Tabla 16

Velocidad y caída de presión equivalente recomendada

Fuente: Elaboración propia

Es importante considerar que el diámetro de la conexión del compresor, condensador, evaporador, depósito de líquido y cualquier otro componente de un sistema, no determina de forma absoluta el diámetro de las tuberías que deben ser utilizadas, las cuales probablemente son diferentes. Los problemas asociados a una selección incorrecta son como mínimo:

- **Sobredimensionamiento:**

- › Mayor carga de refrigerante
- › Aumento en los costos de instalación (tubería, aislación y soportes)
- › Retorno de aceite deficiente (particularmente en la línea de aspiración, provocando una falla de lubricación en el compresor)
- › Disminución de la capacidad del sistema, como resultado de la acumulación de aceite en el evaporador

- **Subdimensionamiento de las líneas en todos los sentidos producirá una disminución en la capacidad frigorífica del sistema, producto de:**

- › En la línea de descarga y aspiración provocara un aumento en la relación de compresión
- › La disminución de temperatura saturada de aspiración resultara en la disminución del flujo masico circulado por el compresor como consecuencia de la disminución de densidad del refrigerante
- › Formación de vapor en la línea de líquido

NOTA:

En ocasiones no es posible cumplir con los criterios de velocidad y caída de presión, en dichos casos se debe priorizar la velocidad, asegurando el correcto retorno de aceite y consecuente funcionalidad del sistema.

ADVERTENCIA:

Un cambio de 1 K en la temperatura de saturación del refrigerante (vapor o líquido) no es equivalente a una variación de 1, psi en presión.

RECOMENDACIÓN:

Por cada 1 metro de línea de líquido vertical ascendente, agregar una pérdida de carga 1,5 PSI (valor empírico).

Longitud equivalente de singularidades:

Corresponde a la equivalencia en la caída de presión, entre una singularidad y un tramo de tubería lineal del mismo diámetro.

Tabla 17
Largos equivalentes
Fuente: Refrigerant Piping
Handbook, Suva Dupont

DIÁMETRO TUBERÍAS (pulgadas)	LARGO EQUIVALENTE SINGULARIDADES (M)		
	CURVA 90° (radio largo)	CURVA 90° (radio corto)	CURVA 45°
1/2	0,27	0,42	0,12
5/8	0,30	0,45	0,15
3/4	0,39	0,57	0,18
7/8	0,45	0,69	0,21
1 1/8	0,54	0,82	0,27
1 3/8	0,72	1,09	0,36
1 5/8	0,85	1,27	0,42
2 1/8	1,18	1,79	0,54

Las siguientes tablas indican diámetros recomendados para diferentes capacidades frigoríficas. Donde:

Tipo ANSI: Diámetro exterior de la tubería en pulgadas

NS: Diámetro exterior de la tubería en mm

DPP: Caída de presión unitaria en bar/m

DPT: Caída de presión unitaria equivalente en temperatura saturada K/m

Velocidad del refrigerante (m/s)

Tabla 18: Selección de diámetros para R-22 (Referencia temperatura de evaporación -8°C)

Capacidad Frigorífica del compresor en W	ASPIRACIÓN					DESCARGA					LÍQUIDO				
	Tipo	NS	DPP [bar/m]	DPT [K/m]	Velocidad [m/s]	Tipo	NS	DPP [bar/m]	DPT [K/m]	Velocidad [m/s]	Tipo	NS	DPP [bar/m]	DPT [K/m]	Velocidad [m/s]
1.000	ANSI 5/16	7,92	0,043	0,325	13,77	ANSI 1/4	6,35	0,046	0,113	6,55	ANSI 1/4	6,35	0,003	0,008	0,31
	ANSI 3/8	9,53	0,014	0,107	8,73	ANSI 5/16	7,92	0,013	0,031	3,85	ANSI 5/16	7,92	0,001	0,002	0,18
	ANSI 1/2	12,7	0,003	0,021	4,45	ANSI 3/8	9,53	0,004	0,01	2,44	ANSI 3/8	9,53	0	0,001	0,12
1.875	ANSI 3/8	9,53	0,045	0,339	16,37	ANSI 1/4	6,35	0,149	0,366	12,29	ANSI 1/4	6,35	0,01	0,025	0,58
	ANSI 1/2	12,7	0,009	0,065	8,34	ANSI 5/16	7,92	0,04	0,098	7,22	ANSI 5/16	7,92	0,003	0,007	0,34
	ANSI 5/8	15,88	0,003	0,02	5,14	ANSI 3/8	9,53	0,013	0,032	4,58	ANSI 3/8	9,53	0,001	0,002	0,22
2.000	ANSI 3/8	9,53	0,05	0,382	17,46	ANSI 5/16	7,92	0,045	0,111	7,71	ANSI 1/4	6,35	0,011	0,028	0,62
	ANSI 1/2	12,7	0,01	0,073	8,89	ANSI 3/8	9,53	0,015	0,036	4,89	ANSI 5/16	7,92	0,003	0,008	0,36
	ANSI 5/8	15,88	0,003	0,023	5,48	ANSI 1/2	12,7	0,003	0,007	2,49	ANSI 3/8	9,53	0,001	0,003	0,23
2.750	ANSI 1/2	12,7	0,017	0,131	12,23	ANSI 5/16	7,92	0,082	0,2	10,6	ANSI 1/4	6,35	0,02	0,049	0,85
	ANSI 5/8	15,88	0,005	0,04	7,54	ANSI 3/8	9,53	0,027	0,065	6,72	ANSI 5/16	7,92	0,006	0,014	0,5
	ANSI 3/4	19,05	0,002	0,015	5,03	ANSI 1/2	12,7	0,005	0,012	3,42	ANSI 3/8	9,53	0,002	0,005	0,32
3.000	ANSI 1/2	12,7	0,02	0,154	13,34	ANSI 5/16	7,92	0,096	0,236	11,56	ANSI 1/4	6,35	0,024	0,058	0,93
	ANSI 5/8	15,88	0,006	0,047	8,23	ANSI 3/8	9,53	0,031	0,076	7,33	ANSI 5/16	7,92	0,007	0,016	0,55
	ANSI 3/4	19,05	0,002	0,018	5,48	ANSI 1/2	12,7	0,006	0,015	3,73	ANSI 3/8	9,53	0,002	0,005	0,35
4.000	ANSI 5/8	15,88	0,011	0,08	10,97	ANSI 3/8	9,53	0,053	0,131	9,77	ANSI 1/4	6,35	0,04	0,097	1,24
	ANSI 3/4	19,05	0,004	0,03	7,31	ANSI 1/2	12,7	0,01	0,025	4,98	ANSI 5/16	7,92	0,011	0,027	0,73
	ANSI 7/8	22,23	0,002	0,015	5,48	ANSI 5/8	15,88	0,003	0,008	3,07	ANSI 3/8	9,53	0,004	0,009	0,46
4.050	ANSI 5/8	15,88	0,011	0,082	11,11	ANSI 3/8	9,53	0,055	0,134	9,89	ANSI 5/16	7,92	0,011	0,027	0,74
	ANSI 3/4	19,05	0,004	0,031	7,4	ANSI 1/2	12,7	0,01	0,025	5,04	ANSI 3/8	9,53	0,004	0,009	0,47
	ANSI 7/8	22,23	0,002	0,015	5,55	ANSI 5/8	15,88	0,003	0,008	3,11	ANSI 1/2	12,7	0,001	0,002	0,24
5.000	ANSI 5/8	15,88	0,016	0,121	13,71	ANSI 3/8	9,53	0,081	0,199	12,22	ANSI 5/16	7,92	0,016	0,04	0,91
	ANSI 3/4	19,05	0,006	0,045	9,14	ANSI 1/2	12,7	0,015	0,037	6,22	ANSI 3/8	9,53	0,005	0,013	0,58
	ANSI 7/8	22,23	0,003	0,022	6,85	ANSI 5/8	15,88	0,005	0,011	3,84	ANSI 1/2	12,7	0,001	0,003	0,29
5.190	ANSI 5/8	15,88	0,017	0,13	14,23	ANSI 3/8	9,53	0,087	0,213	12,68	ANSI 5/16	7,92	0,018	0,043	0,94
	ANSI 3/4	19,05	0,006	0,048	9,49	ANSI 1/2	12,7	0,016	0,04	6,46	ANSI 3/8	9,53	0,006	0,014	0,6
	ANSI 7/8	22,23	0,003	0,024	7,11	ANSI 5/8	15,88	0,005	0,012	3,98	ANSI 1/2	12,7	0,001	0,003	0,3
5.645	ANSI 5/8	15,88	0,02	0,152	15,48	ANSI 3/8	9,53	0,102	0,25	13,79	ANSI 5/16	7,92	0,02	0,05	1,03
	ANSI 3/4	19,05	0,007	0,056	10,32	ANSI 1/2	12,7	0,019	0,047	7,03	ANSI 3/8	9,53	0,007	0,017	0,65
	ANSI 7/8	22,23	0,004	0,028	7,73	ANSI 5/8	15,88	0,006	0,014	4,33	ANSI 1/2	12,7	0,001	0,003	0,33
6.000	ANSI 3/4	19,05	0,008	0,063	10,97	ANSI 3/8	9,53	0,114	0,281	14,66	ANSI 5/16	7,92	0,023	0,056	1,09
	ANSI 7/8	22,23	0,004	0,031	8,22	ANSI 1/2	12,7	0,021	0,053	7,47	ANSI 3/8	9,53	0,008	0,019	0,69
	ANSI 1 1/8	28,58	0,001	0,009	4,83	ANSI 5/8	15,88	0,007	0,016	4,61	ANSI 1/2	12,7	0,001	0,004	0,35
6.425	ANSI 3/4	19,05	0,009	0,071	11,74	ANSI 3/8	9,53	0,13	0,319	15,7	ANSI 5/16	7,92	0,026	0,063	1,17
	ANSI 7/8	22,23	0,005	0,035	8,8	ANSI 1/2	12,7	0,024	0,06	8	ANSI 3/8	9,53	0,009	0,021	0,74
	ANSI 1 1/8	28,58	0,001	0,01	5,17	ANSI 5/8	15,88	0,007	0,018	4,93	ANSI 1/2	12,7	0,002	0,004	0,38

Capacidad Frigorífica del compresor en W	ASPIRACIÓN					DESCARGA					LÍQUIDO				
	Tipo	NS	DPP [bar/m]	DPT [K/m]	Velocidad [m/s]	Tipo	NS	DPP [bar/m]	DPT [K/m]	Velocidad [m/s]	Tipo	NS	DPP [bar/m]	DPT [K/m]	Velocidad [m/s]
7.000	ANSI 3/4	19,05	0,011	0,083	12,8	ANSI 3/8	9,53	0,153	0,376	17,1	ANSI 5/16	7,92	0,03	0,074	1,27
	ANSI 7/8	22,23	0,005	0,041	9,59	ANSI 1/2	12,7	0,029	0,07	8,71	ANSI 3/8	9,53	0,01	0,024	0,81
	ANSI 1 1/8	28,58	0,001	0,011	5,63	ANSI 5/8	15,88	0,009	0,021	5,37	ANSI 1/2	12,7	0,002	0,005	0,41
7.045	ANSI 3/4	19,05	0,011	0,084	12,88	ANSI 3/8	9,53	0,155	0,381	17,21	ANSI 5/16	7,92	0,03	0,075	1,28
	ANSI 7/8	22,23	0,006	0,042	9,65	ANSI 1/2	12,7	0,029	0,071	8,77	ANSI 3/8	9,53	0,01	0,025	0,81
	ANSI 1 1/8	28,58	0,002	0,011	5,67	ANSI 5/8	15,88	0,009	0,022	5,41	ANSI 1/2	12,7	0,002	0,005	0,41
8.000	ANSI 3/4	19,05	0,014	0,107	14,62	ANSI 1/2	12,7	0,037	0,09	9,96	ANSI 3/8	9,53	0,013	0,031	0,92
	ANSI 7/8	22,23	0,007	0,053	10,96	ANSI 5/8	15,88	0,011	0,027	6,14	ANSI 1/2	12,7	0,003	0,006	0,47
	ANSI 1 1/8	28,58	0,002	0,014	6,43	ANSI 3/4	19,05	0,004	0,01	4,09	ANSI 5/8	15,88	0,001	0,002	0,29
8.425	ANSI 7/8	22,23	0,008	0,058	11,54	ANSI 1/2	12,7	0,04	0,099	10,49	ANSI 3/8	9,53	0,014	0,034	0,97
	ANSI 1 1/8	28,58	0,002	0,016	6,78	ANSI 5/8	15,88	0,012	0,03	6,47	ANSI 1/2	12,7	0,003	0,007	0,49
	ANSI 1 3/8	34,93	0,001	0,006	4,45	ANSI 3/4	19,05	0,005	0,011	4,31	ANSI 5/8	15,88	0,001	0,002	0,31
9.000	ANSI 7/8	22,23	0,009	0,066	12,33	ANSI 1/2	12,7	0,046	0,112	11,2	ANSI 3/8	9,53	0,016	0,039	1,04
	ANSI 1 1/8	28,58	0,002	0,018	7,24	ANSI 5/8	15,88	0,014	0,034	6,91	ANSI 1/2	12,7	0,003	0,008	0,53
	ANSI 1 3/8	34,93	0,001	0,006	4,75	ANSI 3/4	19,05	0,005	0,013	4,61	ANSI 5/8	15,88	0,001	0,002	0,33
9.500	ANSI 7/8	22,23	0,01	0,072	13,02	ANSI 1/2	12,7	0,051	0,124	11,82	ANSI 3/8	9,53	0,017	0,042	1,1
	ANSI 1 1/8	28,58	0,003	0,02	7,64	ANSI 5/8	15,88	0,015	0,038	7,29	ANSI 1/2	12,7	0,003	0,008	0,56
	ANSI 1 3/8	34,93	0,001	0,007	5,02	ANSI 3/4	19,05	0,006	0,014	4,86	ANSI 5/8	15,88	0,001	0,003	0,34
10.000	ANSI 7/8	22,23	0,011	0,08	13,7	ANSI 1/2	12,7	0,056	0,137	12,45	ANSI 3/8	9,53	0,019	0,047	1,15
	ANSI 1 1/8	28,58	0,003	0,022	8,04	ANSI 5/8	15,88	0,017	0,041	7,67	ANSI 1/2	12,7	0,004	0,009	0,59
	ANSI 1 3/8	34,93	0,001	0,008	5,28	ANSI 3/4	19,05	0,006	0,015	5,12	ANSI 5/8	15,88	0,001	0,003	0,36
11.000	ANSI 7/8	22,23	0,013	0,095	15,07	ANSI 5/8	15,88	0,02	0,049	8,44	ANSI 3/8	9,53	0,023	0,055	1,27
	ANSI 1 1/8	28,58	0,003	0,026	8,85	ANSI 3/4	19,05	0,007	0,018	5,63	ANSI 1/2	12,7	0,004	0,011	0,65
	ANSI 1 3/8	34,93	0,001	0,009	5,81	ANSI 7/8	22,23	0,004	0,009	4,22	ANSI 5/8	15,88	0,001	0,003	0,4
11.220	ANSI 7/8	22,23	0,013	0,099	15,37	ANSI 1/2	12,7	0,069	0,17	13,97	ANSI 3/8	9,53	0,023	0,057	1,29
	ANSI 1 1/8	28,58	0,004	0,027	9,02	ANSI 5/8	15,88	0,021	0,051	8,61	ANSI 1/2	12,7	0,005	0,011	0,66
	ANSI 1 3/8	34,93	0,001	0,01	5,93	ANSI 3/4	19,05	0,008	0,019	5,74	ANSI 5/8	15,88	0,001	0,004	0,41
12.000	ANSI 1 1/8	28,58	0,004	0,03	9,65	ANSI 5/8	15,88	0,024	0,058	9,21	ANSI 3/8	9,53	0,027	0,065	1,38
	ANSI 1 3/8	34,93	0,001	0,011	6,34	ANSI 3/4	19,05	0,009	0,021	6,14	ANSI 1/2	12,7	0,005	0,013	0,71
	ANSI 1 5/8	41,28	0,001	0,005	4,47	ANSI 7/8	22,23	0,004	0,011	4,6	ANSI 5/8	15,88	0,002	0,004	0,43
12.340	ANSI 1 1/8	28,58	0,004	0,032	9,92	ANSI 5/8	15,88	0,025	0,061	9,47	ANSI 3/8	9,53	0,028	0,068	1,42
	ANSI 1 3/8	34,93	0,002	0,011	6,52	ANSI 3/4	19,05	0,009	0,023	6,31	ANSI 1/2	12,7	0,005	0,013	0,73
	ANSI 1 5/8	41,28	0,001	0,005	4,6	ANSI 7/8	22,23	0,005	0,011	4,73	ANSI 5/8	15,88	0,002	0,004	0,45
13.000	ANSI 1 1/8	28,58	0,005	0,035	10,45	ANSI 5/8	15,88	0,028	0,068	9,98	ANSI 3/8	9,53	0,031	0,075	1,5
	ANSI 1 3/8	34,93	0,002	0,013	6,87	ANSI 3/4	19,05	0,01	0,025	6,65	ANSI 1/2	12,7	0,006	0,015	0,76
	ANSI 1 5/8	41,28	0,001	0,005	4,85	ANSI 7/8	22,23	0,005	0,012	4,99	ANSI 5/8	15,88	0,002	0,005	0,47
14.000	ANSI 1 1/8	28,58	0,005	0,04	11,26	ANSI 5/8	15,88	0,032	0,078	10,75	ANSI 3/8	9,53	0,035	0,086	1,61
	ANSI 1 3/8	34,93	0,002	0,014	7,39	ANSI 3/4	19,05	0,012	0,029	7,16	ANSI 1/2	12,7	0,007	0,017	0,82
	ANSI 1 5/8	41,28	0,001	0,006	5,22	ANSI 7/8	22,23	0,006	0,014	5,37	ANSI 5/8	15,88	0,002	0,005	0,51

Capacidad Frigorífica del compresor en W	ASPIRACIÓN					DESCARGA					LÍQUIDO				
	Tipo	NS	DPP [bar/m]	DPT [K/m]	Velocidad [m/s]	Tipo	NS	DPP [bar/m]	DPT [K/m]	Velocidad [m/s]	Tipo	NS	DPP [bar/m]	DPT [K/m]	Velocidad [m/s]
15.000	ANSI 1 1/8	28,58	0,006	0,046	12,06	ANSI 5/8	15,88	0,036	0,088	11,51	ANSI 3/8	9,53	0,04	0,098	1,73
	ANSI 1 3/8	34,93	0,002	0,016	7,92	ANSI 3/4	19,05	0,013	0,032	7,67	ANSI 1/2	12,7	0,008	0,019	0,88
	ANSI 1 5/8	41,28	0,001	0,007	5,59	ANSI 7/8	22,23	0,007	0,016	5,75	ANSI 5/8	15,88	0,002	0,006	0,54
16.000	ANSI 1 1/8	28,58	0,007	0,052	12,87	ANSI 5/8	15,88	0,041	0,1	12,28	ANSI 3/8	9,53	0,045	0,11	1,84
	ANSI 1 3/8	34,93	0,002	0,018	8,45	ANSI 3/4	19,05	0,015	0,037	8,19	ANSI 1/2	12,7	0,009	0,021	0,94
	ANSI 1 5/8	41,28	0,001	0,008	5,97	ANSI 7/8	22,23	0,007	0,018	6,14	ANSI 5/8	15,88	0,003	0,007	0,58
16.520	ANSI 1 1/8	28,58	0,007	0,055	13,29	ANSI 5/8	15,88	0,043	0,106	12,68	ANSI 3/8	9,53	0,048	0,117	1,91
	ANSI 1 3/8	34,93	0,003	0,02	8,73	ANSI 3/4	19,05	0,016	0,039	8,45	ANSI 1/2	12,7	0,009	0,023	0,97
	ANSI 1 5/8	41,28	0,001	0,008	6,16	ANSI 7/8	22,23	0,008	0,019	6,34	ANSI 5/8	15,88	0,003	0,007	0,6
17.000	ANSI 1 1/8	28,58	0,008	0,058	13,67	ANSI 5/8	15,88	0,046	0,112	13,05	ANSI 3/8	9,53	0,05	0,123	1,96
	ANSI 1 3/8	34,93	0,003	0,021	8,98	ANSI 3/4	19,05	0,017	0,041	8,7	ANSI 1/2	12,7	0,01	0,024	1
	ANSI 1 5/8	41,28	0,001	0,009	6,34	ANSI 7/8	22,23	0,008	0,02	6,52	ANSI 5/8	15,88	0,003	0,007	0,62
18.000	ANSI 1 1/8	28,58	0,008	0,064	14,48	ANSI 3/4	19,05	0,019	0,046	9,21	ANSI 1/2	12,7	0,011	0,026	1,06
	ANSI 1 3/8	34,93	0,003	0,023	9,51	ANSI 7/8	22,23	0,009	0,022	6,9	ANSI 5/8	15,88	0,003	0,008	0,65
	ANSI 1 5/8	41,28	0,001	0,01	6,71	ANSI 1 1/8	28,58	0,002	0,006	4,05	ANSI 3/4	19,05	0,001	0,003	0,43
18.700	ANSI 1 1/8	28,58	0,009	0,069	15,04	ANSI 3/4	19,05	0,02	0,049	9,57	ANSI 1/2	12,7	0,012	0,028	1,1
	ANSI 1 3/8	34,93	0,003	0,025	9,88	ANSI 7/8	22,23	0,01	0,024	7,17	ANSI 5/8	15,88	0,004	0,009	0,68
	ANSI 1 5/8	41,28	0,001	0,011	6,97	ANSI 1 1/8	28,58	0,003	0,007	4,21	ANSI 3/4	19,05	0,001	0,003	0,45
19.000	ANSI 1 1/8	28,58	0,009	0,071	15,28	ANSI 3/4	19,05	0,021	0,051	9,72	ANSI 5/8	15,88	0,004	0,009	0,69
	ANSI 1 3/8	34,93	0,003	0,025	10,04	ANSI 7/8	22,23	0,01	0,025	7,29	ANSI 3/4	19,05	0,001	0,003	0,46
	ANSI 1 5/8	41,28	0,001	0,011	7,08	ANSI 1 1/8	28,58	0,003	0,007	4,28	ANSI 7/8	22,23	0,001	0,002	0,34
20.000	ANSI 1 1/8	28,58	0,01	0,078	16,08	ANSI 3/4	19,05	0,023	0,056	10,23	ANSI 1/2	12,7	0,013	0,032	1,18
	ANSI 1 3/8	34,93	0,004	0,028	10,56	ANSI 7/8	22,23	0,011	0,027	7,67	ANSI 5/8	15,88	0,004	0,01	0,72
	ANSI 1 5/8	41,28	0,002	0,012	7,46	ANSI 1 1/8	28,58	0,003	0,007	4,5	ANSI 3/4	19,05	0,002	0,004	0,48
20.750	ANSI 1 1/8	28,58	0,011	0,084	16,69	ANSI 3/4	19,05	0,024	0,06	10,62	ANSI 1/2	12,7	0,014	0,034	1,22
	ANSI 1 3/8	34,93	0,004	0,03	10,96	ANSI 7/8	22,23	0,012	0,029	7,96	ANSI 5/8	15,88	0,004	0,011	0,75
	ANSI 1 5/8	41,28	0,002	0,013	7,74	ANSI 1 1/8	28,58	0,003	0,008	4,67	ANSI 3/4	19,05	0,002	0,004	0,5

Fuente: Elaboración propia en base al Software CoolSelector de Danfoss

Condiciones de funcionamiento base para la elaboración de la tabla:

Temperatura de evaporación:	-8 °C
Temperatura de condensación:	45 °C
Sobrecalentamiento útil:	8 K
Sobrecalentamiento adicional:	12 K
Sobrecalentamiento total:	20 K

Tabla 19: Selección de diámetros para R-404A y R-507A (Referencia temperatura de evaporación -8°C)

Capacidad Frigorífica del compresor en W	ASPIRACIÓN					DESCARGA					LÍQUIDO				
	Tipo	NS	DPP [bar/m]	DPT [K/m]	Velocidad [m/s]	Tipo	NS	DPP [bar/m]	DPT [K/m]	Velocidad [m/s]	Tipo	NS	DPP [bar/m]	DPT [K/m]	Velocidad [m/s]
2.000	ANSI 3/8	9,53	0,071	0,452	17,92	ANSI 1/4	6,35	0,209	0,438	11,73	ANSI 1/4	6,35	0,025	0,052	1,06
	ANSI 1/2	12,7	0,013	0,085	9,13	ANSI 5/16	7,92	0,055	0,115	6,89	ANSI 5/16	7,92	0,007	0,014	0,63
	ANSI 5/8	15,88	0,004	0,026	5,63	ANSI 3/8	9,53	0,018	0,037	4,37	ANSI 3/8	9,53	0,002	0,005	0,4
2.125	ANSI 1/2	12,7	0,015	0,096	9,7	ANSI 1/4	6,35	0,235	0,492	12,46	ANSI 1/4	6,35	0,028	0,057	1,13
	ANSI 5/8	15,88	0,005	0,029	5,98	ANSI 5/16	7,92	0,062	0,129	7,33	ANSI 5/16	7,92	0,008	0,016	0,66
	ANSI 3/4	19,05	0,002	0,011	3,99	ANSI 3/8	9,53	0,02	0,042	4,65	ANSI 3/8	9,53	0,003	0,005	0,42
2.950	ANSI 1/2	12,7	0,028	0,176	13,47	ANSI 5/16	7,92	0,116	0,241	10,17	ANSI 5/16	7,92	0,014	0,029	0,92
	ANSI 5/8	15,88	0,008	0,054	8,3	ANSI 3/8	9,53	0,037	0,077	6,45	ANSI 3/8	9,53	0,005	0,01	0,58
	ANSI 3/4	19,05	0,003	0,02	5,54	ANSI 1/2	12,7	0,007	0,015	3,29	ANSI 1/2	12,7	0,001	0,002	0,3
3.000	ANSI 5/8	15,88	0,009	0,055	8,45	ANSI 5/16	7,92	0,119	0,249	10,34	ANSI 5/16	7,92	0,014	0,03	0,94
	ANSI 3/4	19,05	0,003	0,021	5,63	ANSI 3/8	9,53	0,038	0,08	6,56	ANSI 3/8	9,53	0,005	0,01	0,59
	ANSI 7/8	22,23	0,002	0,01	4,22	ANSI 1/2	12,7	0,007	0,015	3,34	ANSI 1/2	12,7	0,001	0,002	0,3
3.795	ANSI 5/8	15,88	0,013	0,085	10,68	ANSI 3/8	9,53	0,06	0,124	8,3	ANSI 5/16	7,92	0,022	0,045	1,19
	ANSI 3/4	19,05	0,005	0,032	7,12	ANSI 1/2	12,7	0,011	0,023	4,23	ANSI 3/8	9,53	0,007	0,015	0,75
	ANSI 7/8	22,23	0,002	0,016	5,34	ANSI 5/8	15,88	0,003	0,007	2,61	ANSI 1/2	12,7	0,001	0,003	0,38
4.000	ANSI 5/8	15,88	0,015	0,094	11,26	ANSI 5/16	7,92	0,207	0,432	13,79	ANSI 5/16	7,92	0,024	0,05	1,25
	ANSI 3/4	19,05	0,005	0,035	7,51	ANSI 3/8	9,53	0,066	0,137	8,74	ANSI 3/8	9,53	0,008	0,016	0,79
	ANSI 7/8	22,23	0,003	0,017	5,63	ANSI 1/2	12,7	0,012	0,026	4,46	ANSI 1/2	12,7	0,002	0,003	0,4
4.380	ANSI 5/8	15,88	0,018	0,112	12,33	ANSI 3/8	9,53	0,078	0,163	9,57	ANSI 3/8	9,53	0,009	0,019	0,87
	ANSI 3/4	19,05	0,006	0,041	8,22	ANSI 1/2	12,7	0,015	0,03	4,88	ANSI 1/2	12,7	0,002	0,004	0,44
	ANSI 7/8	22,23	0,003	0,02	6,16	ANSI 5/8	15,88	0,004	0,009	3,01	ANSI 5/8	15,88	0,001	0,001	0,27
5.000	ANSI 3/4	19,05	0,008	0,053	9,38	ANSI 3/8	9,53	0,101	0,21	10,93	ANSI 3/8	9,53	0,012	0,025	0,99
	ANSI 7/8	22,23	0,004	0,026	7,03	ANSI 1/2	12,7	0,019	0,039	5,57	ANSI 1/2	12,7	0,002	0,005	0,51
	ANSI 1 1/8	28,58	0,001	0,007	4,13	ANSI 5/8	15,88	0,006	0,012	3,43	ANSI 5/8	15,88	0,001	0,002	0,31
5.120	ANSI 3/4	19,05	0,009	0,055	9,61	ANSI 3/8	9,53	0,105	0,22	11,19	ANSI 3/8	9,53	0,012	0,026	1,01
	ANSI 7/8	22,23	0,004	0,027	7,2	ANSI 1/2	12,7	0,02	0,041	5,7	ANSI 1/2	12,7	0,002	0,005	0,52
	ANSI 1 1/8	28,58	0,001	0,007	4,23	ANSI 5/8	15,88	0,006	0,012	3,52	ANSI 5/8	15,88	0,001	0,002	0,32
5.375	ANSI 3/4	19,05	0,009	0,06	10,09	ANSI 3/8	9,53	0,116	0,241	11,75	ANSI 3/8	9,53	0,014	0,028	1,07
	ANSI 7/8	22,23	0,005	0,03	7,56	ANSI 1/2	12,7	0,021	0,045	5,99	ANSI 1/2	12,7	0,003	0,006	0,54
	ANSI 1 1/8	28,58	0,001	0,008	4,44	ANSI 5/8	15,88	0,007	0,014	3,69	ANSI 5/8	15,88	0,001	0,002	0,33
5.825	ANSI 3/4	19,05	0,011	0,07	10,93	ANSI 3/8	9,53	0,135	0,282	12,73	ANSI 3/8	9,53	0,016	0,033	1,16
	ANSI 7/8	22,23	0,005	0,034	8,19	ANSI 1/2	12,7	0,025	0,052	6,49	ANSI 1/2	12,7	0,003	0,006	0,59
	ANSI 1 1/8	28,58	0,001	0,009	4,81	ANSI 5/8	15,88	0,008	0,016	4	ANSI 5/8	15,88	0,001	0,002	0,36

Capacidad Frigorífica del compresor en W	ASPIRACIÓN					DESCARGA					LÍQUIDO				
	Tipo	NS	DPP [bar/m]	DPT [K/m]	Velocidad [m/s]	Tipo	NS	DPP [bar/m]	DPT [K/m]	Velocidad [m/s]	Tipo	NS	DPP [bar/m]	DPT [K/m]	Velocidad [m/s]
6.000	ANSI 3/4	1905	0,012	0,074	11,26	ANSI 3/8	953	0,143	0,298	13,12	ANSI 3/8	953	0,017	0,034	1,19
	ANSI 7/8	22,23	0,006	0,036	8,44	ANSI 1/2	12,7	0,026	0,055	6,68	ANSI 1/2	12,7	0,003	0,007	0,61
	ANSI 1 1/8	28,58	0,002	0,01	4,95	ANSI 5/8	15,88	0,008	0,017	4,12	ANSI 5/8	15,88	0,001	0,002	0,37
6.900	ANSI 3/4	1905	0,015	0,096	12,95	ANSI 3/8	953	0,187	0,39	15,08	ANSI 3/8	953	0,021	0,045	1,37
	ANSI 7/8	22,23	0,007	0,047	9,71	ANSI 1/2	12,7	0,034	0,072	7,68	ANSI 1/2	12,7	0,004	0,009	0,7
	ANSI 1 1/8	28,58	0,002	0,013	5,7	ANSI 5/8	15,88	0,01	0,022	4,74	ANSI 5/8	15,88	0,001	0,003	0,43
7.000	ANSI 3/4	1905	0,015	0,098	13,14	ANSI 3/8	953	0,192	0,401	15,3	ANSI 3/8	953	0,022	0,046	1,39
	ANSI 7/8	22,23	0,008	0,048	9,85	ANSI 1/2	12,7	0,035	0,074	7,8	ANSI 1/2	12,7	0,004	0,009	0,71
	ANSI 1 1/8	28,58	0,002	0,013	5,78	ANSI 5/8	15,88	0,011	0,022	4,81	ANSI 5/8	15,88	0,001	0,003	0,44
7.420	ANSI 3/4	1905	0,017	0,11	13,92	ANSI 3/8	953	0,215	0,449	16,22	ANSI 3/8	953	0,024	0,051	1,47
	ANSI 7/8	22,23	0,008	0,054	10,44	ANSI 1/2	12,7	0,039	0,082	8,26	ANSI 1/2	12,7	0,005	0,01	0,75
	ANSI 1 1/8	28,58	0,002	0,015	6,13	ANSI 5/8	15,88	0,012	0,025	5,1	ANSI 5/8	15,88	0,001	0,003	0,46
8.000	ANSI 7/8	22,23	0,01	0,062	11,25	ANSI 1/2	12,7	0,045	0,095	8,91	ANSI 1/2	12,7	0,005	0,011	0,81
	ANSI 1 1/8	28,58	0,003	0,017	6,61	ANSI 5/8	15,88	0,014	0,028	5,49	ANSI 5/8	15,88	0,002	0,004	0,5
	ANSI 1 3/8	34,93	0,001	0,006	4,34	ANSI 3/4	1905	0,005	0,01	3,66	ANSI 3/4	1905	0,001	0,001	0,33
8.810	ANSI 7/8	22,23	0,012	0,074	12,39	ANSI 1/2	12,7	0,055	0,114	9,81	ANSI 1/2	12,7	0,006	0,013	0,89
	ANSI 1 1/8	28,58	0,003	0,02	7,27	ANSI 5/8	15,88	0,016	0,034	6,05	ANSI 5/8	15,88	0,002	0,004	0,55
	ANSI 1 3/8	34,93	0,001	0,007	4,78	ANSI 3/4	1905	0,006	0,013	4,03	ANSI 3/4	1905	0,001	0,002	0,37
9000	ANSI 7/8	22,23	0,012	0,077	12,66	ANSI 1/2	12,7	0,057	0,119	10,02	ANSI 1/2	12,7	0,007	0,014	0,91
	ANSI 1 1/8	28,58	0,003	0,021	7,43	ANSI 5/8	15,88	0,017	0,036	6,18	ANSI 5/8	15,88	0,002	0,004	0,56
	ANSI 1 3/8	34,93	0,001	0,008	4,88	ANSI 3/4	1905	0,006	0,013	4,12	ANSI 3/4	1905	0,001	0,002	0,37
9.825	ANSI 7/8	22,23	0,014	0,091	13,82	ANSI 1/2	12,7	0,067	0,14	10,94	ANSI 1/2	12,7	0,008	0,016	0,99
	ANSI 1 1/8	28,58	0,004	0,025	8,11	ANSI 5/8	15,88	0,02	0,042	6,75	ANSI 5/8	15,88	0,002	0,005	0,61
	ANSI 1 3/8	34,93	0,001	0,009	5,33	ANSI 3/4	1905	0,007	0,015	4,5	ANSI 3/4	1905	0,001	0,002	0,41
10.000	ANSI 7/8	22,23	0,015	0,094	14,07	ANSI 1/2	12,7	0,07	0,145	11,14	ANSI 1/2	12,7	0,008	0,017	1,01
	ANSI 1 1/8	28,58	0,004	0,025	8,26	ANSI 5/8	15,88	0,021	0,043	6,87	ANSI 5/8	15,88	0,003	0,005	0,62
	ANSI 1 3/8	34,93	0,001	0,009	5,42	ANSI 3/4	1905	0,008	0,016	4,58	ANSI 3/4	1905	0,001	0,002	0,42
11.000	ANSI 7/8	22,23	0,018	0,113	15,47	ANSI 1/2	12,7	0,083	0,174	12,25	ANSI 1/2	12,7	0,01	0,02	1,11
	ANSI 1 1/8	28,58	0,005	0,03	9,08	ANSI 5/8	15,88	0,025	0,052	7,55	ANSI 5/8	15,88	0,003	0,006	0,69
	ANSI 1 3/8	34,93	0,002	0,011	5,96	ANSI 3/4	1905	0,009	0,019	5,04	ANSI 3/4	1905	0,001	0,002	0,46
11.450	ANSI 7/8	22,23	0,019	0,121	16,1	ANSI 1/2	12,7	0,09	0,188	12,75	ANSI 1/2	12,7	0,01	0,022	1,16
	ANSI 1 1/8	28,58	0,005	0,033	9,45	ANSI 5/8	15,88	0,027	0,056	7,86	ANSI 5/8	15,88	0,003	0,007	0,71
	ANSI 1 3/8	34,93	0,002	0,012	6,21	ANSI 3/4	1905	0,01	0,02	5,24	ANSI 3/4	1905	0,001	0,003	0,48
12000	ANSI 7/8	22,23	0,021	0,133	16,88	ANSI 1/2	12,7	0,099	0,206	13,36	ANSI 1/2	12,7	0,011	0,024	1,21
	ANSI 1 1/8	28,58	0,006	0,036	9,91	ANSI 5/8	15,88	0,029	0,061	8,24	ANSI 5/8	15,88	0,004	0,007	0,75
	ANSI 1 3/8	34,93	0,002	0,013	6,51	ANSI 3/4	1905	0,011	0,022	5,49	ANSI 3/4	1905	0,001	0,003	0,5
13.000	ANSI 1 1/8	28,58	0,007	0,041	10,73	ANSI 1/2	12,7	0,115	0,24	14,48	ANSI 1/2	12,7	0,013	0,027	1,31
	ANSI 1 3/8	34,93	0,002	0,015	7,05	ANSI 5/8	15,88	0,034	0,071	8,93	ANSI 5/8	15,88	0,004	0,008	0,81
	ANSI 1 5/8	41,28	0,001	0,006	4,98	ANSI 3/4	1905	0,012	0,026	5,95	ANSI 3/4	1905	0,002	0,003	0,54
13.500	ANSI 1 1/8	28,58	0,007	0,044	11,15	ANSI 1/2	12,7	0,124	0,258	15,03	ANSI 1/2	12,7	0,014	0,029	1,36
	ANSI 1 3/8	34,93	0,002	0,016	7,32	ANSI 5/8	15,88	0,037	0,077	9,27	ANSI 5/8	15,88	0,004	0,009	0,84
	ANSI 1 5/8	41,28	0,001	0,007	5,17	ANSI 3/4	1905	0,013	0,028	6,18	ANSI 3/4	1905	0,002	0,003	0,56
14.000	ANSI 1 1/8	28,58	0,007	0,047	11,56	ANSI 5/8	15,88	0,039	0,082	9,62	ANSI 5/8	15,88	0,005	0,01	0,87
	ANSI 1 3/8	34,93	0,003	0,017	7,59	ANSI 3/4	1905	0,014	0,03	6,41	ANSI 3/4	1905	0,002	0,004	0,58
	ANSI 1 5/8	41,28	0,001	0,007	5,36	ANSI 7/8	22,23	0,007	0,015	4,8	ANSI 7/8	22,23	0,001	0,002	0,44

Capacidad Frigorífica del compresor en W	ASPIRACIÓN					DESCARGA					LÍQUIDO				
	Tipo	NS	DPP [bar/m]	DPT [K/m]	Velocidad [m/s]	Tipo	NS	DPP [bar/m]	DPT [K/m]	Velocidad [m/s]	Tipo	NS	DPP [bar/m]	DPT [K/m]	Velocidad [m/s]
15.000	ANSI 1 1/8	28,58	0,008	0,054	12,38	ANSI 5/8	15,88	0,045	0,094	10,3	ANSI 5/8	15,88	0,005	0,011	0,93
	ANSI 1 3/8	34,93	0,003	0,019	8,13	ANSI 3/4	19,05	0,016	0,034	6,87	ANSI 3/4	19,05	0,002	0,004	0,62
	ANSI 1 5/8	41,28	0,001	0,008	5,74	ANSI 7/8	22,23	0,008	0,017	5,15	ANSI 7/8	22,23	0,001	0,002	0,47
16.000	ANSI 1 1/8	28,58	0,01	0,061	13,21	ANSI 5/8	15,88	0,051	0,106	10,99	ANSI 5/8	15,88	0,006	0,012	1
	ANSI 1 3/8	34,93	0,003	0,022	8,68	ANSI 3/4	19,05	0,018	0,038	7,33	ANSI 3/4	19,05	0,002	0,005	0,66
	ANSI 1 5/8	41,28	0,001	0,009	6,13	ANSI 7/8	22,23	0,009	0,019	5,49	ANSI 7/8	22,23	0,001	0,002	0,5
17.000	ANSI 1 1/8	28,58	0,011	0,068	14,03	ANSI 5/8	15,88	0,057	0,119	11,68	ANSI 5/8	15,88	0,007	0,014	1,06
	ANSI 1 3/8	34,93	0,004	0,024	9,22	ANSI 3/4	19,05	0,021	0,043	7,78	ANSI 3/4	19,05	0,002	0,005	0,71
	ANSI 1 5/8	41,28	0,002	0,01	6,51	ANSI 7/8	22,23	0,01	0,021	5,83	ANSI 7/8	22,23	0,001	0,003	0,53
17.270	ANSI 1 1/8	28,58	0,011	0,07	14,26	ANSI 5/8	15,88	0,059	0,123	11,86	ANSI 5/8	15,88	0,007	0,014	1,08
	ANSI 1 3/8	34,93	0,004	0,025	9,37	ANSI 3/4	19,05	0,021	0,044	7,91	ANSI 3/4	19,05	0,003	0,005	0,72
	ANSI 1 5/8	41,28	0,002	0,011	6,61	ANSI 7/8	22,23	0,01	0,022	5,93	ANSI 7/8	22,23	0,001	0,003	0,54
18.000	ANSI 1 3/8	34,93	0,004	0,027	9,76	ANSI 5/8	15,88	0,064	0,133	12,36	ANSI 5/8	15,88	0,007	0,015	1,12
	ANSI 1 5/8	41,28	0,002	0,012	6,89	ANSI 3/4	19,05	0,023	0,048	8,24	ANSI 3/4	19,05	0,003	0,006	0,75
	ANSI 2 1/8	53,98	0	0,003	3,96	ANSI 7/8	22,23	0,011	0,023	6,18	ANSI 7/8	22,23	0,001	0,003	0,56
19.000	ANSI 1 3/8	34,93	0,005	0,03	10,3	ANSI 5/8	15,88	0,071	0,147	13,05	ANSI 5/8	15,88	0,008	0,017	1,18
	ANSI 1 5/8	41,28	0,002	0,013	7,27	ANSI 3/4	19,05	0,026	0,053	8,7	ANSI 3/4	19,05	0,003	0,006	0,79
	ANSI 2 1/8	53,98	0,001	0,003	4,18	ANSI 7/8	22,23	0,012	0,026	6,52	ANSI 7/8	22,23	0,002	0,003	0,59
20.000	ANSI 1 3/8	34,93	0,005	0,033	10,85	ANSI 5/8	15,88	0,078	0,162	13,74	ANSI 5/8	15,88	0,009	0,019	1,25
	ANSI 1 5/8	41,28	0,002	0,014	7,66	ANSI 3/4	19,05	0,028	0,059	9,16	ANSI 3/4	19,05	0,003	0,007	0,83
	ANSI 2 1/8	53,98	0,001	0,004	4,4	ANSI 7/8	22,23	0,014	0,029	6,86	ANSI 7/8	22,23	0,002	0,003	0,62
20.240	ANSI 1 3/8	34,93	0,005	0,034	10,98	ANSI 5/8	15,88	0,08	0,166	13,9	ANSI 5/8	15,88	0,009	0,019	1,26
	ANSI 1 5/8	41,28	0,002	0,014	7,75	ANSI 3/4	19,05	0,029	0,06	9,27	ANSI 3/4	19,05	0,003	0,007	0,84
	ANSI 2 1/8	53,98	0,001	0,004	4,46	ANSI 7/8	22,23	0,014	0,029	6,95	ANSI 7/8	22,23	0,002	0,004	0,63
21.000	ANSI 1 3/8	34,93	0,006	0,036	11,39	ANSI 5/8	15,88	0,086	0,178	14,42	ANSI 3/4	19,05	0,004	0,008	0,87
	ANSI 1 5/8	41,28	0,002	0,015	8,04	ANSI 3/4	19,05	0,031	0,064	9,61	ANSI 7/8	22,23	0,002	0,004	0,65
	ANSI 2 1/8	53,98	0,001	0,004	4,62	ANSI 7/8	22,23	0,015	0,031	7,21	ANSI 1 1/8	28,58	0	0,001	0,38
22.000	ANSI 1 3/8	34,93	0,006	0,039	11,93	ANSI 5/8	15,88	0,094	0,195	15,11	ANSI 5/8	15,88	0,011	0,022	1,37
	ANSI 1 5/8	41,28	0,003	0,017	8,42	ANSI 3/4	19,05	0,034	0,07	10,07	ANSI 3/4	19,05	0,004	0,008	0,91
	ANSI 2 1/8	53,98	0,001	0,004	4,84	ANSI 7/8	22,23	0,016	0,034	7,55	ANSI 7/8	22,23	0,002	0,004	0,68
22.210	ANSI 1 3/8	34,93	0,006	0,04	12,04	ANSI 5/8	15,88	0,095	0,199	15,25	ANSI 3/4	19,05	0,004	0,008	0,92
	ANSI 1 5/8	41,28	0,003	0,017	8,5	ANSI 3/4	19,05	0,034	0,072	10,17	ANSI 7/8	22,23	0,002	0,004	0,69
	ANSI 2 1/8	53,98	0,001	0,004	4,89	ANSI 7/8	22,23	0,017	0,035	7,62	ANSI 1 1/8	28,58	0,001	0,001	0,41
23.000	ANSI 1 3/8	34,93	0,007	0,043	12,47	ANSI 5/8	15,88	0,102	0,213	15,8	ANSI 3/4	19,05	0,004	0,009	0,96
	ANSI 1 5/8	41,28	0,003	0,018	8,8	ANSI 3/4	19,05	0,037	0,077	10,53	ANSI 7/8	22,23	0,002	0,004	0,72
	ANSI 2 1/8	53,98	0,001	0,005	5,07	ANSI 7/8	22,23	0,018	0,037	7,89	ANSI 1 1/8	28,58	0,001	0,001	0,42

Condiciones de funcionamiento base para la elaboración de la tabla:

Temperatura de evaporación:	-8 °C
Temperatura de condensación:	45 °C
Sobrecalentamiento útil:	8 K
Sobrecalentamiento adicional:	12 K
Sobrecalentamiento total:	20 K

Fuente: Elaboración propia en base al Software CoolSelector de Danfoss

Tabla 20: Selección de diámetros para R-404A y R-507A (Referencia temperatura de evaporación -27°C)

Capacidad Frigorífica del compresor en W	ASPIRACIÓN					DESCARGA					LÍQUIDO				
	Tipo	NS	DPP [bar/m]	DPT [K/m]	Velocidad [m/s]	Tipo	NS	DPP [bar/m]	DPT [K/m]	Velocidad [m/s]	Tipo	NS	DPP [bar/m]	DPT [K/m]	Velocidad [m/s]
1.000	ANSI 1/2	12,7	0,009	0,099	10,19	ANSI 1/4	6,35	0,075	0,157	7,07	ANSI 1/4	6,35	0,009	0,018	0,59
	ANSI 5/8	15,88	0,003	0,031	6,28	ANSI 5/16	7,92	0,02	0,042	4,16	ANSI 5/16	7,92	0,002	0,005	0,35
	ANSI 3/4	19,05	0,001	0,012	4,19	ANSI 3/8	9,53	0,007	0,014	2,64	ANSI 3/8	9,53	0,001	0,002	0,22
1.290	ANSI 1/2	12,7	0,015	0,158	13,14	ANSI 1/4	6,35	0,121	0,254	9,13	ANSI 1/4	6,35	0,014	0,028	0,77
	ANSI 5/8	15,88	0,004	0,049	8,1	ANSI 5/16	7,92	0,032	0,068	5,37	ANSI 5/16	7,92	0,004	0,008	0,45
	ANSI 3/4	19,05	0,002	0,018	5,4	ANSI 3/8	9,53	0,011	0,022	3,4	ANSI 3/8	9,53	0,001	0,003	0,29
2.000	ANSI 5/8	15,88	0,01	0,108	12,56	ANSI 5/16	7,92	0,074	0,154	8,32	ANSI 1/4	6,35	0,03	0,063	1,19
	ANSI 3/4	19,05	0,004	0,04	8,38	ANSI 3/8	9,53	0,024	0,05	5,27	ANSI 5/16	7,92	0,008	0,017	0,7
	ANSI 7/8	22,23	0,002	0,02	6,28	ANSI 1/2	12,7	0,005	0,009	2,69	ANSI 3/8	9,53	0,003	0,006	0,44
2.540	ANSI 5/8	15,88	0,016	0,168	15,95	ANSI 5/16	7,92	0,116	0,242	10,56	ANSI 5/16	7,92	0,013	0,027	0,89
	ANSI 3/4	19,05	0,006	0,062	10,64	ANSI 3/8	9,53	0,037	0,078	6,7	ANSI 3/8	9,53	0,004	0,009	0,56
	ANSI 7/8	22,23	0,003	0,031	7,97	ANSI 1/2	12,7	0,007	0,015	3,41	ANSI 1/2	12,7	0,001	0,002	0,29
3.000	ANSI 3/4	19,05	0,008	0,085	12,56	ANSI 5/16	7,92	0,159	0,333	12,48	ANSI 5/16	7,92	0,017	0,036	1,05
	ANSI 7/8	22,23	0,004	0,042	9,42	ANSI 3/8	9,53	0,051	0,106	7,91	ANSI 3/8	9,53	0,006	0,012	0,66
	ANSI 1 1/8	28,58	0,001	0,012	5,53	ANSI 1/2	12,7	0,01	0,02	4,03	ANSI 1/2	12,7	0,001	0,002	0,34
3.100	ANSI 3/4	19,05	0,008	0,09	12,98	ANSI 5/16	7,92	0,17	0,355	12,89	ANSI 5/16	7,92	0,018	0,038	1,08
	ANSI 7/8	22,23	0,004	0,045	9,73	ANSI 3/8	9,53	0,054	0,113	8,18	ANSI 3/8	9,53	0,006	0,013	0,69
	ANSI 1 1/8	28,58	0,001	0,012	5,71	ANSI 1/2	12,7	0,01	0,021	4,17	ANSI 1/2	12,7	0,001	0,003	0,35
4.000	ANSI 7/8	22,23	0,007	0,071	12,55	ANSI 3/8	9,53	0,088	0,183	10,55	ANSI 3/8	9,53	0,01	0,02	0,89
	ANSI 1 1/8	28,58	0,002	0,019	7,37	ANSI 1/2	12,7	0,016	0,034	5,37	ANSI 1/2	12,7	0,002	0,004	0,45
	ANSI 1 3/8	34,93	0,001	0,007	4,84	ANSI 5/8	15,88	0,005	0,01	3,31	ANSI 5/8	15,88	0,001	0,001	0,28
5.000	ANSI 7/8	22,23	0,01	0,108	15,69	ANSI 3/8	9,53	0,135	0,281	13,19	ANSI 3/8	9,53	0,015	0,03	1,11
	ANSI 1 1/8	28,58	0,003	0,029	9,21	ANSI 1/2	12,7	0,025	0,052	6,72	ANSI 1/2	12,7	0,003	0,006	0,56
	ANSI 1 3/8	34,93	0,001	0,011	6,05	ANSI 5/8	15,88	0,008	0,016	4,14	ANSI 5/8	15,88	0,001	0,002	0,35
6.000	ANSI 1 1/8	28,58	0,004	0,041	11,05	ANSI 3/8	9,53	0,191	0,399	15,82	ANSI 1/2	12,7	0,004	0,008	0,68
	ANSI 1 3/8	34,93	0,001	0,015	7,26	ANSI 1/2	12,7	0,035	0,073	8,06	ANSI 5/8	15,88	0,001	0,003	0,42
	ANSI 1 5/8	41,28	0,001	0,006	5,13	ANSI 5/8	15,88	0,011	0,022	4,97	ANSI 3/4	19,05	0	0,001	0,28

Capacidad Frigorífica del compresor en W	ASPIRACIÓN					DESCARGA					LÍQUIDO				
	Tipo	NS	DPP [bar/m]	DPT [K/m]	Velocidad [m/s]	Tipo	NS	DPP [bar/m]	DPT [K/m]	Velocidad [m/s]	Tipo	NS	DPP [bar/m]	DPT [K/m]	Velocidad [m/s]
6.125	ANSI 1 1/8	28,58	0,004	0,043	11,28	ANSI 1/2	12,7	0,037	0,076	8,23	ANSI 1/2	12,7	0,004	0,009	0,69
	ANSI 1 3/8	34,93	0,001	0,015	7,41	ANSI 5/8	15,88	0,011	0,023	5,07	ANSI 5/8	15,88	0,001	0,003	0,43
	ANSI 1 5/8	41,28	0,001	0,007	5,23	ANSI 3/4	19,05	0,004	0,008	3,38	ANSI 3/4	19,05	0	0,001	0,28
7.000	ANSI 1 1/8	28,58	0,005	0,054	12,9	ANSI 1/2	12,7	0,047	0,098	9,4	ANSI 1/2	12,7	0,005	0,011	0,79
	ANSI 1 3/8	34,93	0,002	0,02	8,47	ANSI 5/8	15,88	0,014	0,03	5,8	ANSI 5/8	15,88	0,002	0,003	0,49
	ANSI 1 5/8	41,28	0,001	0,008	5,98	ANSI 3/4	19,05	0,005	0,011	3,87	ANSI 3/4	19,05	0,001	0,001	0,32
8.000	ANSI 1 3/8	34,93	0,002	0,025	9,68	ANSI 1/2	12,7	0,061	0,127	10,75	ANSI 1/2	12,7	0,007	0,014	0,9
	ANSI 1 5/8	41,28	0,001	0,011	6,83	ANSI 5/8	15,88	0,018	0,038	6,63	ANSI 5/8	15,88	0,002	0,004	0,56
	ANSI 2 1/8	53,98	0	0,003	3,93	ANSI 3/4	19,05	0,007	0,014	4,42	ANSI 3/4	19,05	0,001	0,002	0,37
8.500	ANSI 1 3/8	34,93	0,003	0,028	10,29	ANSI 1/2	12,7	0,068	0,142	11,42	ANSI 1/2	12,7	0,007	0,015	0,96
	ANSI 1 5/8	41,28	0,001	0,012	7,26	ANSI 5/8	15,88	0,02	0,043	7,04	ANSI 5/8	15,88	0,002	0,005	0,59
	ANSI 2 1/8	53,98	0	0,003	4,18	ANSI 3/4	19,05	0,007	0,016	4,69	ANSI 3/4	19,05	0,001	0,002	0,39
9.000	ANSI 1 3/8	34,93	0,003	0,031	10,89	ANSI 1/2	12,7	0,076	0,159	12,09	ANSI 1/2	12,7	0,008	0,017	1,02
	ANSI 1 5/8	41,28	0,001	0,013	7,69	ANSI 5/8	15,88	0,023	0,047	7,46	ANSI 5/8	15,88	0,003	0,005	0,63
	ANSI 2 1/8	53,98	0	0,003	4,42	ANSI 3/4	19,05	0,008	0,017	4,97	ANSI 3/4	19,05	0,001	0,002	0,42

Fuente: Elaboración propia en base al Software CoolSelector de Danfoss

Condiciones de funcionamiento base para la elaboración de la tabla:

Temperatura de evaporación:	-27 °C
Temperatura de condensación:	45 °C
Sobrecalentamiento útil:	8 K
Sobrecalentamiento adicional:	17 K
Sobrecalentamiento total:	25 K

Ejemplo:

Seleccionar los diámetros más adecuados para un sistema cuya capacidad frigorífica es 11.220 W y utiliza R-22. El sistema es destinado para almacenar productos frescos (0°C) y las condiciones de diseño son similares a las utilizadas para la construcción de las tablas de selección (condiciones típicas). Las características de las líneas son:

- › Aspiración 10 m y 13 curvas
- › Descarga 2 m y 6 curvas
- › Líquido 10 m y 15 curvas



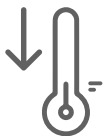
Línea de aspiración:

- › **Diámetro seleccionado 1 1/8"**, velocidad de 9,02 m/s y una caída de presión unitaria equivalente en temperatura de saturación 0,027 K/m
- › Largo total (considerando el diámetro de 1 1/8") = 10 m + (13 curvas x 0,54 m/curva (longitud equivalente)). Largo total = 17,02 m
- › Caída de presión total equivalente en temperatura de saturación = 17,02 m x 0,027 K/m. Caída de presión total equivalente en temperatura de saturación = 0,45 K



Línea de descarga:

- › **Diámetro seleccionado 1/2"**, velocidad de 13,97 m/s y una caída de presión unitaria equivalente en temperatura de saturación 0,17 K/m
- › Largo total (considerando el diámetro de 1/2") = 2 m + (6 curvas x 0,27 m/curva (longitud equivalente)). Largo total = 3,62 m
- › Caída de presión total equivalente en temperatura de saturación = 3,62 m x 0,17 K/m. Caída de presión total equivalente en temperatura de saturación = 0,61 K



Línea de líquido:

- › **Diámetro seleccionado 1/2"**, velocidad de 0,66 m/s y una caída de presión unitaria equivalente en temperatura saturada 0,011 K/m
- › Largo total (considerando el diámetro de 1/2") = 10 m + (15 curvas x 0,27 m/curva (longitud equivalente)). Largo total = 14,05 m
- › Caída de presión total equivalente en temperatura de saturación = 14,05 m x 0,011 K/m. Caída de presión total equivalente en temperatura de saturación = 0,15 K

17.4 ENTENDIENDO LOS LÍMITES DE APLICACIÓN DE UN COMPRESOR

- Los límites de aplicación de un compresor están en función de:
 - › Presión y temperatura de evaporación
 - › Presión y temperatura de condensación
 - › Sobrecalentamiento en la aspiración del compresor y/o temperatura de aspiración

En la actualidad existen una amplia gama de compresores para responder requerimientos específicos, con la mayor eficiencia energética posible. Por lo tanto, es necesario realizar un análisis en la selección del compresor o incluso en un proceso de mantenimiento, ya que sucesivas fallas del compresor pueden deberse a su aplicación incorrecta.

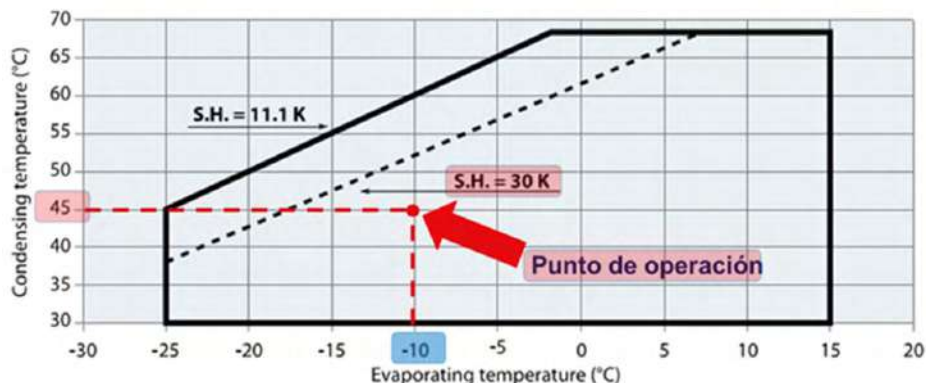
En el caso de compresor hermético enfriado por refrigerante, el sobrecalentamiento en la aspiración es relevante, ya que evita el recalentamiento del motor eléctrico.

• Punto de operación y grafico de límites de aplicación

- › Requerimiento:
 - Temperatura de evaporación = -10°C
 - Temperatura de condensación = 45°C
 - Sobrecalentamiento de diseño = 25 K

El punto de operación corresponde a la intersección de la temperatura de evaporación y condensación, según el requerimiento. En este caso, el punto de operación está dentro del gráfico, específicamente en la zona donde el sobrecalentamiento máximo permitido en la aspiración del compresor es 30K, dicha zona es caracterizada como zona de funcionamiento seguro o estándar.

Imagen 73
 Límites de aplicación de un compresor Maneurop MT utilizando R-22
 Fuente: www.danfoss.com



Al variar la temperatura de evaporación a -20°C , el punto de operación nuevamente se encuentra dentro del gráfico. Sin embargo, está ubicado en la zona de funcionamiento condicionado, donde el sobrecalentamiento máximo admitido es $11,1\text{ K}$.

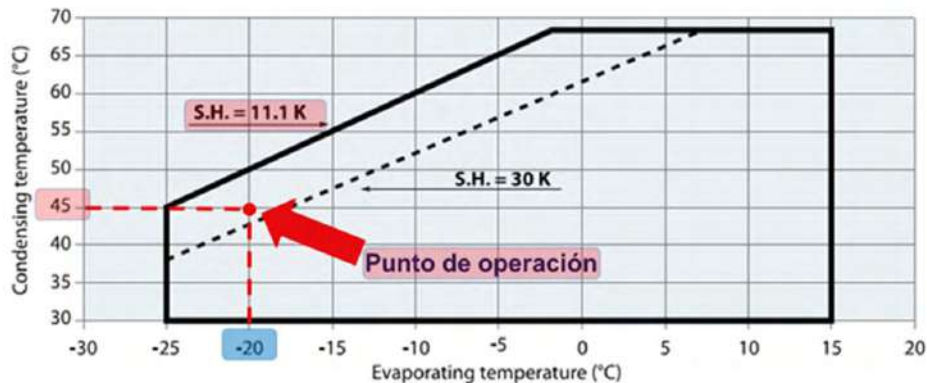


Imagen 74

Límites de aplicación de un compresor Maneurop MT utilizando R-22

Fuente: www.danfoss.com

• Ejemplo: N°1:

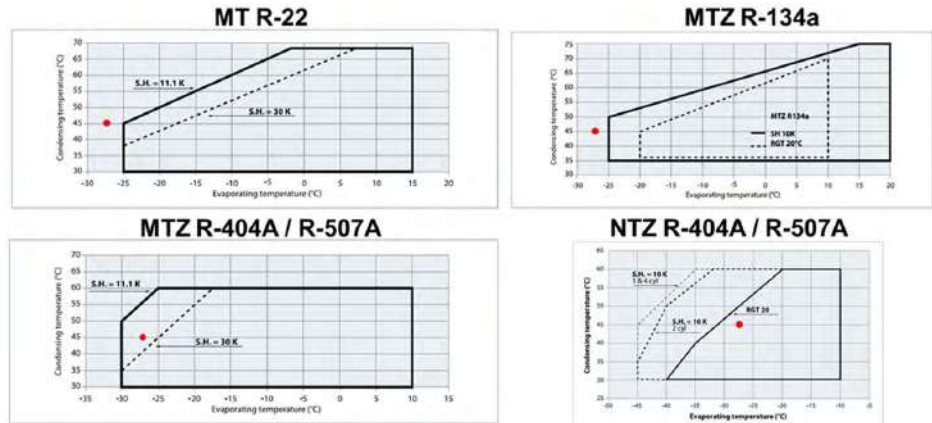
- › Requerimiento:
 - Temperatura de evaporación = -27°C
 - Temperatura de condensación = 45°C
 - Sobrecalentamiento de diseño = 25 K

En el caso de los compresores MT utilizando R-22 y MTZ con R-134a, el punto de operación se encuentra fuera del gráfico, en consecuencia, fuera de los límites de aplicaciones del compresor, por lo cual no correspondería a una correcta selección. Referente al compresor MTZ utilizando R-404A o R-507A.

El punto de operación se encuentra en la zona de funcionamiento condicionado a un sobrecalentamiento máximo de $11,1\text{ K}$, por lo cual también correspondería a una aplicación incorrecta, destacando que podría operar correctamente dentro de sus límites de aplicación, siempre y cuando el sobrecalentamiento sea inferior a $11,1\text{ K}$, condición que en la práctica es difícil de obtener, por lo menos para cámaras de refrigeración que disponen de tuberías expuestas a la temperatura ambiente. Por ende, la única aplicación correcta en función de los requerimientos corresponde al compresor NTZ con R-404A o R507A, donde el punto de operación se encuentra dentro del gráfico de límites de aplicación y en una zona donde la temperatura máxima de aspiración es de 20°C . En este caso, se debe incorporar una válvula limitadora de presión en la aspiración de compresor, de igual forma evitar las altas temperaturas de descarga, incluso con valores de temperatura de aspiración menor al máximo admitido.

Imagen 75
Límites de aplicación de
compresores Maneurop

Fuente: www.danfoss.com



Ejemplo: N°2:

Requerimiento:

Temperatura de evaporación = - 10°C

Temperatura de condensación = 45°C

Sobrecalentamiento de diseño = 25 K

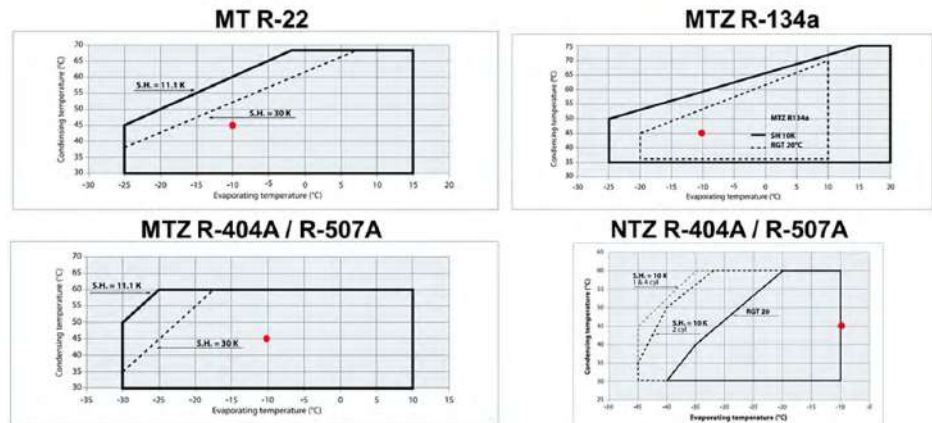
Los compresores MT, MTZ utilizando R-404Ay MTZ con R-134a, son adecuados para los requerimientos planteados, el punto de operación se encuentra dentro de los límites de aplicación, en la zona de funcionamiento estándar. En el caso específico del MTZ utilizando R-134Aa, los límites de aplicación indican una temperatura de aspiración máxima de 20°C. Particularmente el compresor NTZ con R-404A, corresponde a una aplicación incorrecta, ya que el punto de operación está compuesto por la temperatura de evaporación máxima admisible, vale decir, al límite del límite de aplicación.

NOTA:

Considerar los criterios de selección de refrigerante especificados en el capítulo 4

Imagen 76
Límites de aplicación de
compresores Maneurop

Fuente: www.danfoss.com



17.5 APLICACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD PARA PROTEGER EL COMPRESOR POR BAJAS Y ELEVADAS PRESIONES

- **Presostatos de alta de seguridad:**

- › Los sistemas compuestos por uno o más compresores, deben estar provistos de presostatos de alta seguridad, en un número igual a la cantidad de compresores. Estos dispositivos deben ser instalados en serie a la energización del compresor (circuito eléctrico de control)
- › Existe la posibilidad de instalar un dispositivo de seguridad electrónico, compuesto como mínimo de un microprocesador y una señal analógica. Sin embargo, el último nivel de seguridad obligatoriamente debe ser de accionamiento mecánico y rearme manual. Además, debe indicar su accionamiento mediante un dispositivo de señalización (visual y/o sonora)

- **Presostato de baja de seguridad:**

- › Todos los sistemas donde exista el riesgo de bajas presiones de evaporación (ejemplo: sistemas enfriadores de agua), las cuales podrían dañar al compresor u otro componente del sistema, deben estar provistos de un presostato de baja seguridad

- **Válvula limitadora de presión de aspiración:**

- › En todos los sistemas de refrigeración, donde el compresor pueda exceder la presión máxima de aspiración, según su límite de aplicación, el compresor debe estar protegido por un dispositivo limitador de presión, tanto para la partida como en funcionamiento normal (comercialmente conocida como válvula reguladora de presión)



Imagen 77

Válvula reguladora de presión de aspiración

Fuente: www.danfoss.com

17.6 AJUSTE DE PRESOSTATOS

Métodos de ajuste para la línea de presostatos KP del fabricante Danfoss.

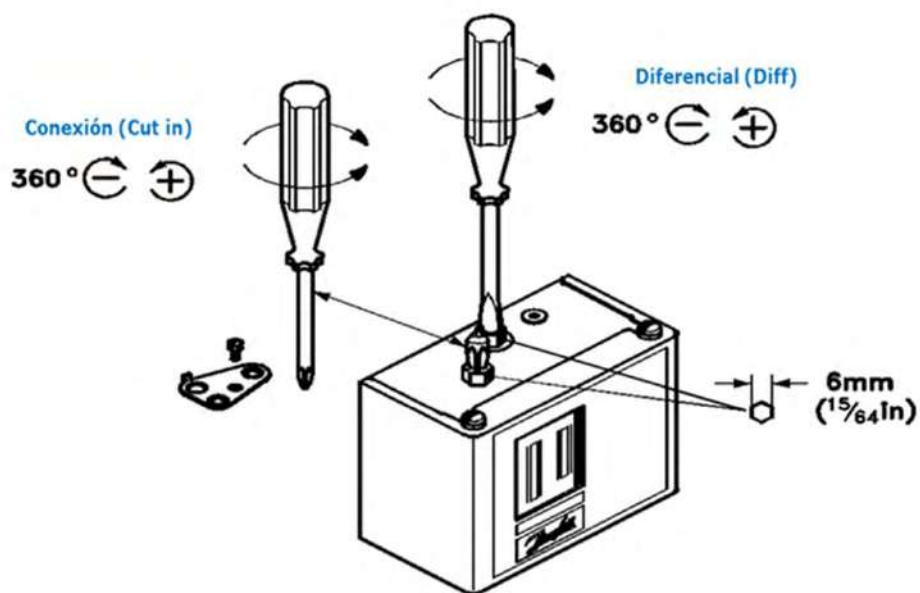
- **Presostato KP1 (baja presión) con rearme automático:**

- › Escala de conexión (Cut in)
 - Ajustar en la escala de conexión un valor superior al valor de conexión requerido
 - Presurizar con nitrógeno hasta el valor de presión de conexión requerido
 - Disminuir lentamente el ajuste en la escala de conexión hasta la conmutación de los contactos
- › Escala de diferencial (Diff)
 - Ajustar en la escala de diferencial un valor mayor al diferencial requerido
 - Despresurizar hasta el valor de desconexión requerido
 - Disminuir lentamente ajuste en la escala de diferencial hasta la conmutación de los contactos

- **Presostato KP5 (alta presión) con rearme manual:**

- › Escala de desconexión (Cut out)
 - Ajustar en la escala de desconexión un valor superior al valor de conexión requerido
 - Presurizar con nitrógeno hasta el valor de presión de desconexión requerido
 - Disminuir lentamente ajuste en la escala de desconexión hasta la conmutación de los contactos

Imagen 78
 Referencia de presostatos
 KP1 con rearme
 automático
 Fuente: www.danfoss.com



17.7 COMPROBACIÓN DE ALARMAS

Los siguientes ejemplos describen cómo verificar el funcionamiento de las alarmas más importantes desde el punto de vista de seguridad y operación:

- **Alarmas de alta y baja temperatura de cámara:**
 - › Comprobación del funcionamiento desde el sistema de control
 - › Usando un sensor de temperatura independiente, confirmar la lectura del sensor
 - › Puntos de ajuste según diseño
 - › Utilizando el sistema de control, bajar el ajuste de la alarma de alta temperatura a un valor por debajo de la temperatura de cámara, verificando la salida de alarma. Por otro lado, subir el ajuste de la alarma de baja temperatura a un valor sobre la temperatura de cámara, verificando la salida de alarma
 - › Verificar la posibilidad de disminuir el tiempo de retardo para las alarmas
- **Alarmas de puerta abierta:**
 - › Usando un cronómetro, determine el tiempo entre cuando se abre cada puerta y cuando se activa una alarma, comparándolo con el ajuste del controlador
- **Presión de descarga:**
 - › Utilizando el sistema de control, bajar el ajuste de la alarma de alta presión a un valor por debajo de la presión de descarga, verificando la salida de alarma. En el caso de presostato mecánicos, utilizar el "Test" para forzar la conmutación de los contactos.
- **Presión de succión:**
 - › Utilizando el sistema de control, subir el ajuste de la alarma de baja presión a un valor por encima de la presión de succión, verificando la salida de alarma. En el caso de presostato mecánicos, utilizar el "Test" para forzar la conmutación de los contactos.
- **Fugas de refrigerante:**
 - › Determinar según diseño las ubicaciones de sensores de fugas y los eventos que deberían activar una alarma
 - › Calibrar los sensores de refrigerante según requerimiento de concentración y especificaciones recomendadas por el fabricante
 - › En el control central, ajustar manualmente la señal de entrada para la concentración de refrigerante hasta que alcance el punto de ajuste. Verificar que se dispare una alarma y todas las respuestas asociadas, según especificaciones de diseño

- **Nivel bajo de refrigerante en el depósito de líquido:**

- › Con el sistema funcionando al 100% de capacidad y el punto de ajuste de bajo nivel de refrigerante en su configuración de diseño, verificar que no haya salida de alarma (es decir, el sistema no está detectando una carga baja)
- › En el sistema de control, aumente gradualmente el punto de ajuste de bajo nivel de refrigerante hasta que se active la alarma y verificando que la salida de alarma sea consistente con lo especificado en el diseño
- › Si el punto de ajuste de bajo nivel de refrigerante no se puede cambiar, manualmente ajuste la señal de entrada para el nivel de refrigerante hasta que alcance el punto de ajuste. Verifique que se active una alarma y que la salida de la alarma sea consistente con la especificada en diseño

- **Aceite en el compresor:**

- › Simular una baja presión y/o de aceite en el compresor, anulando manualmente sensores del control electrónico y/o utilizando métodos de prueba del dispositivo de seguridad. Verificar la detención del compresor y activación de una alarma consistente con lo especificado en diseño

17.8 PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA UTILIZANDO NITRÓGENO, FILTROS ANTIÁCIDOS Y CAMBIOS DE ACEITE

Para eliminar la acidez contenida en el sistema posterior a una falla contaminante, particularmente la quema del motor que conforma un compresor hermético o semihermético, existen filtros antiácidos, los cuales deben ser instalados en la aspiración del compresor y retirados al final del proceso (filtros temporales). Existen dos formatos de filtros antiácidos, los utilizados en carcasas porta filtros, llamados frecuentemente núcleos, y los fabricados para ser instalados directamente en la aspiración del compresor, mediante una soldadura fuerte o unión abocardada. La selección del tipo de filtro a utilizar debe estar basada en las características constructivas y capacidad frigorífica del sistema.

Imagen 79

Filtro antiácido para ser utilizado en carcasa porta filtro

Fuente: www.danfoss.com





Imagen 80

Filtro antiácido a soldar

Fuente: www.danfoss.com

El origen de una falla de un compresor, se puede dividir en dos grandes grupos, sin desconocer que una podría llevar a la otra:

1. Mecánicas (atascamiento, quiebre de piezas, etc.)
2. Eléctricas (quemado del motor, corte del bobinado, etc.)



Imagen 81

Motor quemado, daño en la bobina de partida.

Fuente: Elaboración propia

Dependiendo de la raíz del problema, el nivel de quemadura de un motor eléctrico perteneciente a un compresor puede ser leve o severo. Para tal efecto, a continuación, se presenta como referencia, una diferenciación de criterios (casos) a considerar, los cuales han sido obtenidos a través del conocimiento empírico, entregando una razonable idea inicial respecto del estado del sistema.

- Aceite claro o ligeramente oscuro, con un suave olor a quemado, el nivel de quemadura es leve.,
- Aceite oscuro, con un fuerte olor a quemado, el nivel de quemadura es severo.

Imagen 82 :
**Aceite proveniente de un
 compresor con el motor
 quemado (Quemadura
 severa)**

Fuente: Elaboración propia



En la práctica, la diferenciación de los casos indicados determina cuantas veces se repite parte del proceso de limpieza, basado en la información obtenida por la aplicación de la prueba de acidez al aceite. Para cualquier escenario inicial el resultado final debe ser un sistema no contaminado.

Es muy importante mencionar que se debe solucionar el problema inicial que provocó la quemadura, de lo contrario, el compresor de reemplazo está destinado a fallar nuevamente. Antes de comenzar los trabajos de limpieza (flushing), se deben averiguar las alternativas de filtros de succión (antiácidos) disponibles en el mercado, composición, cuidados y todo lo relacionado a su correcta utilización.

La siguiente secuencia muestra los pasos genéricos para realizar un procedimiento de limpieza (flushing) posterior a la quema del motor, entendiendo que podrán existir variaciones en la ejecución del trabajo, de acuerdo a las características constructivas del sistema intervenido.

- 1) Retirar el refrigerante del sistema mediante una máquina recicladora y un cilindro de recuperación, siempre respetando todos los criterios técnicos y de seguridad involucrados.
- 2) En medida de lo posible, realizar la limpieza mecánica de todos los componentes y partes del sistema, mediante la utilización de nitrógeno, en: tuberías, intercambiadores de calor, filtros de válvula de expansión, separadores de aceite, solenoides, etc. En todo este proceso, se debe retirar la mayor cantidad de aceite contaminado posible.
- 3) Realizar los trabajos necesarios para la instalación del filtro de succión (antiácidos), siguiendo siempre las instrucciones del fabricante. En este punto, es un buen momento para visualizar la instalación de válvulas de paso, accesos para servicio y cualquier modificación que permita tener un sistema más amigable para futuras intervenciones.
- 4) Instalar el compresor de reemplazo y sustituir el filtro de secador (línea de líquido). Es recomendable aumentar la capacidad del filtro indicado, hasta terminar el proceso de limpieza.
- 5) Presurizar con nitrógeno para la detección de fugas, de modo que, si existe alguna, se proceda a repararla y presurizar nuevamente. Repetir el procedimiento tantas veces como sea necesario, hasta obtener un sistema totalmente hermético.
- 6) Realizar proceso de vacío ([ver 10.2](#))
- 7) Cargar con refrigerante el sistema, según requerimientos del refrigerante y las características constructivas del sistema ([ver capítulo 11](#))
- 8) Realizar la puesta en marcha del sistema, se debe realizar un análisis completo del funcionamiento, involucrando mediciones de presión, temperatura, intensidad de corriente y cualquier otra magnitud que ayude al análisis. Si existe algún valor fuera de rango, se debe detener el sistema y corregir inmediatamente, realizando todos los trabajos necesarios según cada caso.
- 9) La mayoría de los fabricantes de filtros, estipulan en su información técnica valores de caídas de presión, las cuales determinan su reemplazo. Verificar los valores recomendados, de modo que, si es necesario, se debe sustituir el filtro de succión (antiácidos). Para ello hay que disponer de tomas de presión antes y después del filtro, si alguna de ellas no existe, se deben instalar previamente.

10) Observar el sistema durante las primeras 4 horas de funcionamiento, medir la caída de presión en el filtro de succión (antiácidos) y comparar con los valores indicados por el fabricante para su reemplazo

11) Realizar una evaluación secuencial de la acidez del aceite, para lo cual se proponen los siguientes tiempos de funcionamiento continuo del sistema: 48 horas, 72 horas, 1 semana y finalmente cada 2 semanas (si aún existe necesidad). A continuación, se detallan los trabajos a realizar, según los escenarios relativos al resultado entregado por la prueba de acidez:

- **Aceite ácido:**

- › Cambiar el aceite al compresor
- › Sustituir el filtro de líquido (secador) y de succión (antiácidos)
- › Realizar nuevamente un análisis del aceite, en el tiempo que corresponda, según la secuencia indicada anteriormente. Continuar con el proceso de limpieza

- **Aceite no ácido:**

- › Cambiar el aceite al compresor.
- › Sustituir el filtro de líquido y retirar el filtro de succión (antiácidos).
- › Se sugiere instalar un filtro mecánico en la succión del compresor, con lo cual, el procedimiento de limpieza ha terminado.

ADVERTENCIA:

Es responsabilidad del prestador técnico de servicio disponer de los medios técnicos (ver capítulo 6) materiales y componentes necesarios para realizar el procedimiento de limpieza. Además, de realizar la disposición final de los residuos generados.

17.9 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR TRIPLE VACÍO

El procedimiento de triple vacío debe ser realizado en el caso de una alta contaminación de agua en el sistema. Ejemplo: Una fisura en el evaporador de un enfriador de agua, y consecuente ingreso de agua al sistema. Los pasos para realizar el triple vacío son detallados a continuación:

- Realizar vacío en el sistema, hasta una presión absoluta de 1000 micrones de mercurio.
- Quebrar vacío con nitrógeno, hasta una presión de 2 psi y mantener dicha presión al menos 45 minutos.
- Nuevamente realizar vacío hasta una presión absoluta 500 micrones de mercurio.
- Quebrar vacío con nitrógeno hasta una presión de 2 psi y mantener dicha presión al menos 45 minutos.
- Realizar vacío hasta alcanzar una presión absoluta de 250 micrones de mercurio

u otro valor especificado por el fabricante del sistema, aislar el sistema de la bomba de vacío y observar la lectura del vacuómetro al transcurrir al menos 1 hora. Mayores detalles para comprobar el correcto resultado del procedimiento, [\(ver 10.2\)](#).

17.10 AJUSTES DE PRESIÓN Y TEMPERATURA EN SISTEMAS QUE UTILIZAN MEZCLAS ZEOTRÓPICAS

Para el ajuste y comprobación del sobrecalentamiento, subenfriamiento, reguladores de presión y otros dispositivos relacionados con la presión y temperatura, cuando el sistema de refrigeración utiliza como refrigerante una mezcla zeotrópica con un alto deslizamiento térmico, es necesario considerar como referencia el punto de rocío para el sobrecalentamiento y el punto de burbuja para el subenfriamiento. Respecto al ajuste de presiones, es recomendable comenzar considerando el valor medio entre el punto de burbuja y el punto de rocío correspondiente a la presión, destacando que este valor no corresponde al valor medio de funcionamiento del evaporador, el cual está relacionado con el porcentaje de vapor en la salida de la válvula de expansión (entrada del evaporador), el cual, a su vez, depende del subenfriamiento en la entrada de ésta.

La Imagen 83 muestra la evolución de temperatura de una mezcla zeotrópica con alto deslizamiento térmico, desde la entrada hasta la salida del evaporador. Se puede observar que la temperatura de entrada al evaporador no corresponde a la temperatura de burbuja, como resultado de una mezcla líquido - vapor.

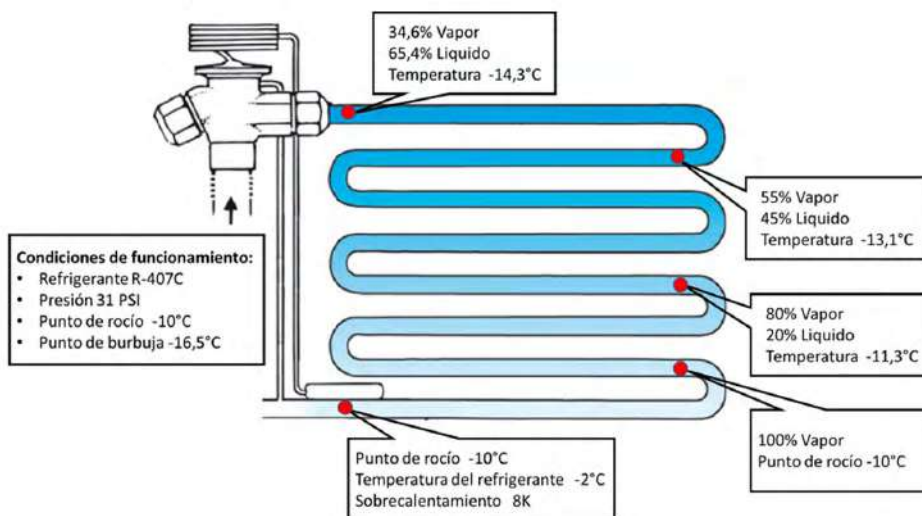


Imagen 83

Evolución de una mezcla zeotrópica en el evaporador

Fuente: Figura base "Notas del instalador - Válvulas de expansión termostáticas", Danfoss



.....
CAPÍTULO **18**

**ANEXOS
INFORMATIVOS**

18.1 PELIGROS ASOCIADOS A LOS REFRIGERANTES

Los peligros asociados a los refrigerantes derivan de sus características físicas y químicas, así como de las presiones y temperaturas del sistema que los contiene. Independientemente de la clasificación según su toxicidad e inflamabilidad, existen una serie de potenciales peligros relacionados, originados por las siguientes causas:



- **Aumento de presión:**

Puede existir una rotura de un sistema o cilindro (sin dispositivo de alivio), si la presión interior excede la presión máxima que soporta el material que los conforma. La rotura produce una liberación inesperada de refrigerante, conjuntamente a la potencial proyección de materiales sólidos.

El aumento de presión puede tener un origen externo. Un procedimiento técnico incorrecto, corresponde a la intención de separar dos piezas unidas por medio de una soldadura fuerte, mediante una llama abierta (soplete) con el circuito frigorífico aún presurizado con refrigerante. El aporte de energía produce un incremento significativo de la presión interior, causando inesperadamente la separación de las piezas o la rotura de la tubería intervenida. Este problema también es observado en procedimientos de mantención, donde producto de la baja temperatura exterior o el rápido vaciado de un cilindro refrigerante al momento de cargar el sistema, la presión disminuye, lo cual imposibilita o entorpece el proceso, ya que el ingreso de refrigerante al sistema depende de la diferencia de presión entre el refrigerante contenido en el cilindro y el sistema mismo. Una forma incorrecta de aumentar la presión del cilindro refrigerante es mediante su exposición a una llamada abierta, lo cual puede originar la rotura del cilindro o del componente de alivio incorporado, destacando que, en ambos casos, la liberación inesperada de refrigerante a alta presión implica un elevado riesgo.

No obstante, a lo mencionado, el problema puede ocurrir incluso con presiones normales de sistemas y cilindros, originados por el debilitamiento de material derivado de abolladuras, corrosión u otro daño físico.



- **Inflamabilidad:**

La propagación de llama por parte de un refrigerante depende de los factores analizados en la clasificación según inflamabilidad ([ver 3.1.2.2](#)). Sin embargo, es

muy importante recordar que el refrigerante está mezclado con aceite en el interior del sistema, por lo cual, una fuga o liberación intencional de la mezcla pudiera ser inflamable en ciertas condiciones (temperatura, presión, presencia de comburente, etc.), incluso dependiendo del origen del aceite (mineral o sintético), obteniendo como resultado, el inicio de un incendio o la intensificación de este.



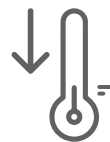
- **Contacto con llama:**

Existe la posibilidad que la mezcla (refrigerante - aceite), o sus componentes en forma independiente, produzcan vapores tóxicos altamente irritantes, como resultado de la descomposición, originada por el contacto con una llama abierta o superficie con alta temperatura. La descomposición de un refrigerante en presencia de agua produce ácido clorhídrico (refrigerantes que contiene cloro) y ácido fluorhídrico (refrigerantes que contienen flúor). Además, algunos refrigerantes en presencia de oxígeno, forman compuestos insaturados, como el fosgeno.



- **Desplazamiento de oxígeno:**

La mayoría de los refrigerantes utilizados en sistemas de refrigeración y aire acondicionado, presentan una mayor densidad que el aire⁹, en consecuencia, pueden generar asfixia al desplazarlo en espacios cerrados.



- **Baja temperatura:**

Los refrigerantes de alta presión tienen temperaturas de ebullición menores a -10°C a 101,3 kPa de presión, por lo cual, al liberarse refrigerante líquido a presión atmosférica está en condiciones de realizar el cambio de estado de líquido a gaseoso. El refrigerante absorberá calor de cualquier cuerpo que entre en contacto, incluyendo órganos humanos (principalmente piel y ojos), congelando las moléculas de agua que los conforman, las cuales, al aumentar su volumen provocan un daño a nivel celular.

⁹ 1,225 kg/m³ a presión atmosférica normal (101,3 kPa) y 15 °C.



Inhalación:

La inhalación prolongada de altas concentraciones de refrigerante, pueden causar dolor de cabeza, mareos, pérdida del conocimiento y otros trastornos del sistema nervioso central.

ADVERTENCIA:

En un sistema de refrigeración existe alta y baja presión, refrigerante en estado líquido y gaseoso. La combinación de refrigerante en estado líquido y alta presión es la condición que genera un mayor riesgo en su manipulación.

18.2 SOBRECALENTAMIENTO Y SUBENFRIAMIENTO

- Un vapor está sobrecalentado cuando su temperatura está sobre la temperatura de saturación correspondiente a su presión. En el caso de mezclas zeotrópicas la referencia de temperatura corresponde al punto de rocío.
- Un líquido está subenfriado cuando su temperatura es menor a la temperatura de saturación correspondiente a su presión. En el caso de mezclas zeotrópicas la referencia de temperatura corresponde al punto de burbuja.
- En la evaluación de un sistema teóricamente el refrigerante puede estar las siguientes condiciones:
 - › Vapor saturado
 - › Líquido saturado
 - › Mezcla líquido-vapor
 - › Vapor sobrecalentado
 - › Líquido subenfriado
- La relación presión - temperatura se cumple en las siguientes condiciones:
 - › Vapor saturado
 - › Líquido saturado
 - › Mezcla líquido-vapor

Considerando que el vapor y líquido saturado corresponden a una condición puntual, cuando exista la relación presión - temperatura, se debe asumir que el refrigerante está en una condición de mezcla líquido-vapor. Por lo cual, en la práctica existen tres condiciones identificables:

- › Mezcla líquido-vapor
- › Vapor sobrecalentado
- › Líquido subenfriado

En un sistema de refrigeración se mantiene la relación presión - temperatura en el condensador, evaporador y depósito de líquido, por existir mezcla de refrigerante. En el final del evaporador, línea de aspiración, línea de descarga y comienzo del condensador, el refrigerante tendrá una temperatura mayor a la temperatura de saturación correspondiente a su presión, vale decir, estará sobrecalentado. Por otro lado, siempre que exista 100% líquido, como en la entrada del dispositivo de expansión, el refrigerante tendrá una temperatura menor a la temperatura de saturación correspondiente a su presión, en consecuencia, se tratará de un líquido subenfriado.

El sobrecalentamiento útil se refiere al generado a la salida del evaporador, producto del funcionamiento de la válvula de expansión termostática, donde el incremento de temperatura del refrigerante proviene del aporte de calor del recinto refrigerado, 6 a 8 K corresponden a valores razonables de sobrecalentamiento útiles, entendiendo que un mayor valor de sobrecalentamiento produce un menor aprovechamiento del evaporador y valores bajos generan potenciales retornos de líquido al compresor. El sobrecalentamiento total se mide en la aspiración del compresor y proviene del calor adquirido por el refrigerante en la línea de aspiración, siendo genéricamente aceptables valores entre 12 K a 25 K (verificar máximos en función de los límites de aplicación del compresor).



• Sobrecalentamiento:

› Refrigerantes puros y mezclas azeotrópicas

» $Sc = Tm - (Tsat)$

• Donde:

- Sc = Sobrecalentamiento (K)
- Tm = Temperatura medida con un termómetro (°C)
- Tsat = Temperatura de saturación correspondiente a la presión (°C)

› Mezclas zeotrópicas:

» $Sc = Tm - (Pr)$

• Donde:

- Sc = Sobrecalentamiento (K)
- Tm = Temperatura medida con un termómetro (°C)
- Pr = Punto de rocío correspondiente a la presión (°C)



• Subenfriamiento:

› Refrigerantes puros y mezclas azeotrópicas

» $Se = Tsat - Tm$

• Donde:

- Se = Subenfriamiento (K)
- Tm = Temperatura medida con un termómetro (°C)
- Tsat = Temperatura de saturación correspondiente a la presión (°C)

› Mezclas zeotrópicas

» $Se = Pb - Tm$

• Donde:

- Se = Subenfriamiento (K)
- Tm = Temperatura medida con un termómetro (°C)
- Pb = Punto de burbuja correspondiente a la presión (°C)

- **Herramientas e instrumentos necesarios para determinar el sobrecalentamiento y subenfriamiento**

- › Manómetro
- › Termómetro de contacto
- › Relación Presión - temperatura (Tablas, reglas, APP, etc.)

Para medir el sobrecalentamiento en la salida del evaporador, en teoría se podrían utilizar dos termómetros. Sin embargo, por las características de los evaporadores es complejo ubicar el termómetro en un punto que mida directamente la temperatura de saturación, además no sería considerada la caída de presión en el intercambiador de calor.

- **Determinando el sobrecalentamiento en la salida del evaporador:**

- › Medir la presión inmediatamente después de la salida del evaporador
- › Medir temperatura lo más cercano posible al punto donde se realiza la medición de presión
- › Convertir la presión en temperatura de saturación
- › Realizar la operación matemática

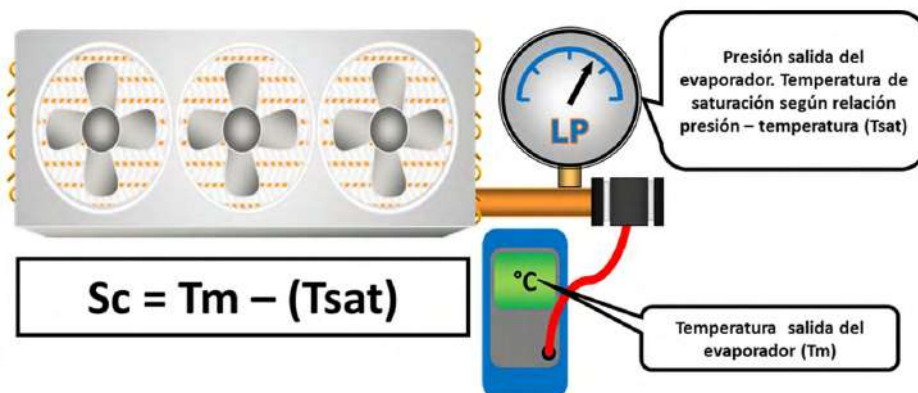


Imagen 84

Medición de sobrecalentamiento en la salida del evaporador, aplicable a un refrigerante puro o mezcla azeotrópica

Fuente: Elaboración propia

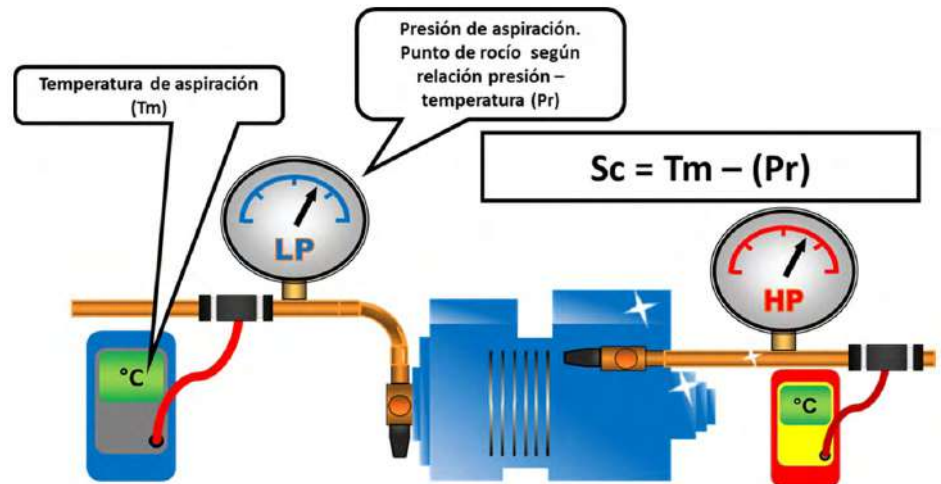
- **Determinando el sobrecalentamiento en la aspiración del compresor:**

- › Medir la presión en las válvulas de servicio del compresor
- › Medir temperatura en 10 a 15 cm antes de las válvulas de servicio del compresor, preferentemente en una tubería horizontal
- › Convertir la presión en temperatura de saturación
- › Realizar la operación matemática

Imagen 85

Medición de sobrecalentamiento en la aspiración del compresor, aplicable a una mezcla zeotrópica

Fuente: Elaboración propia



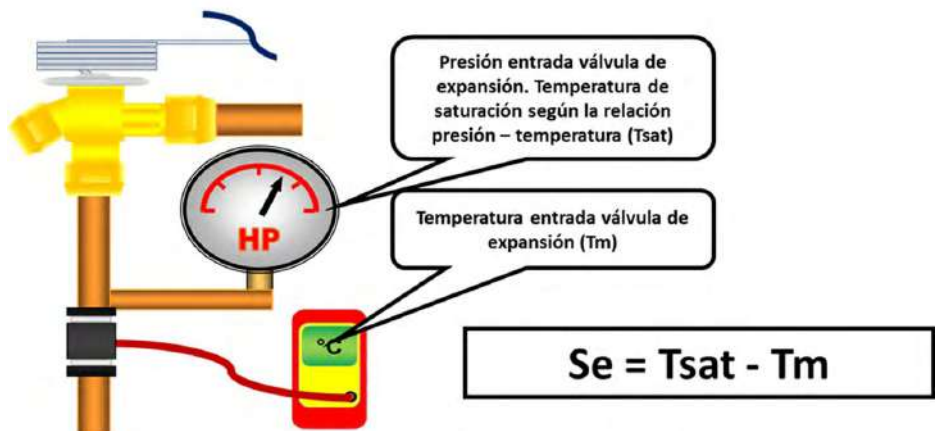
- **Determinando el subenfriamiento en la entrada de la válvula de expansión:**

- › Medir la presión en la entrada de la válvula de expansión
- › Medir temperatura lo más cercano posible al punto donde se realiza la medición de presión
- › Convertir la presión en temperatura de saturación
- › Realizar la operación matemática

Imagen 86

Medición de subenfriamiento en la entrada de una válvula de expansión, aplicable a un refrigerante puro o mezcla azeotrópica

Fuente: Elaboración propia



- **Limitaciones prácticas para realizar las mediciones de presión:**

Usualmente no existe un acceso de servicio para medir presión en la salida del evaporador y entrada de la válvula de expansión termostática. Es necesario considerar su incorporación en la instalación del sistema, posteriormente existen una serie de riesgos asociados. Tales como: Ingreso de partículas de cobre al sistema producto de la perforación de la tubería con un taladro, obstrucción de tuberías con el excesivo aporte en el proceso de soldadura fuerte, etc. En el caso de incorporar un acceso de servicio en un sistema operativo, verificar la posibilidad de intervenir la ecualización de la válvula de expansión termostática. Por otro lado, para medir presión en la entrada de la válvula de expansión, instalar un fitting apropiado para realizar la incorporación del acceso de servicio, considerando, además, la instalación de un visor de líquido para futuras inspecciones.

18.3 ¿POR QUÉ FALLAN LOS COMPRESORES?

Es muy importante enfatizar que un bajo porcentaje tienen origen en el compresor mismo, (ejemplo: Instalación, mantención u operación incorrecta). Es importante entender el funcionamiento de los componentes de forma independiente e integrada en el sistema, registrando periódicamente las condiciones de funcionamiento, las cuales entregarán valiosa información para prevenir una falla. Entendiendo que la falla de un compresor involucra costos mayores que la sustitución del mismo. Ejemplo:

- Deterioro de la mercadería almacenada, la cual puede superar con creces el valor del compresor
- Entorpecimiento en los procesos productivos
- En relación a los puntos anteriores, la urgente necesidad de reestablecer el sistema puede llevar a tomar decisiones incorrectas, reparando el sistema parcialmente lo cual podría resultar en una nueva falla

Los orígenes de una falla del compresor pueden ser el resultado de diversas anomalías del sistema o del compresor mismo, las cuales incluso pueden ser combinadas. Es conveniente abrir el compresor dañado, en búsqueda de piezas quebradas, fricción excesiva, carbonización, contaminación, etc. Un análisis global del estado interno del compresor ayudara a diagnosticar el origen del problema.

18.3.1 Retorno de líquido

Puede ser identificado mediante la medición del sobrecalentamiento en la aspiración del compresor, donde valores tendiente a 0 K (menor que 10 K) son manifiesto del problema. Frecuentemente el retorno de líquido es asociado instantáneamente a la existencia de hielo en la aspiración del compresor, lo cual es absolutamente incorrecto. Un compresor aspirando a una temperatura saturada de -28°C con un sobrecalentamiento de 23 K, (por tanto, sin retorno de líquido), presentara una temperatura de aspiración de -5°C , valor lo suficientemente bajo (menor al punto de rocío del aire) para condensar vapor de agua y posteriormente solidificarlo.

El retorno de líquido tiene diferentes puntos de análisis, primeramente y en orden de frecuencia, es causado por:

- Mezcla líquido-vapor de refrigerante en la salida del evaporador.
- Des-sobrecalentamiento en la línea de aspiración.

La mezcla de refrigerante en la salida el evaporador es causada por que el refrigerante que ingresa al evaporador por medio del dispositivo de expansión no es vaporizado completamente. A su vez, esta condición tiene dos orígenes, los cuales generan distintas condiciones de funcionamiento:

- Válvula de expansión sobredimensionada por una selección o ajuste incorrecto e incluso una situación donde la temperatura medida por el bulbo de la válvula es mayor a la que debiera medir en la salida del evaporador. En este caso existe una tendencia al aumento de presión de aspiración y disminución de la temperatura de descarga, la cual podría superar solo en uno pocos grados a la temperatura saturada de descarga.
- Insuficiente transferencia de calor en un evaporador, producto de un bloqueo por hielo, como resultado de bajo o nulo caudal de aire. En este caso y asumiendo una válvula de expansión correctamente seleccionada, ajustada e instalada, esta tratará de conseguir el sobrecalentamiento ajustado en la salida del evaporador, al existir un intercambio deficiente de calor, la válvula de expansión disminuirá el flujo de refrigerante al evaporador, resultado y a diferencia del caso anterior una tendencia a la disminución de presión de aspiración. Afortunadamente esta condición puede ser detectada visualmente inspeccionado el evaporador.

Respecto al des-sobrecalentamiento en la línea de aspiración, es una condición muy específica, aunque termodinámicamente posible, como resultado de:

- Un aislamiento térmico deficiente en la línea de aspiración
- En conjunto con el punto anterior, la temperatura ambiente donde está ubicada

la línea de aspiración menor a la temperatura del refrigerante. La diferencia de temperatura establecerá la liberación de calor sensible desde el refrigerante al aire circundante

El retorno de líquido puede causar una falla de lubricación con el consecuente atascamiento o quiebre de piezas. El líquido disuelve el aceite, removiendo la película del lubricante en las partes móviles del compresor. Al inspeccionar las piezas de un compresor dañado por esta causa, mostrarán indicios de fricción sin señales de carbonización (piezas limpias).

El retorno de líquido puede causar un golpe de líquido (aunque no necesariamente), cuando ingresa líquido a la cámara de compresión. Lo cual resulta en un daño mecánico producto de la incompresibilidad del líquido. Este problema frecuentemente es evidenciado por el quiebre de las válvulas, biela, empaquetadura de culata y pistones marcados en la parte superior producto del fraccionamiento de las válvulas. Es importante destacar que un golpe de líquido también puede ser producto del ingreso de aceite a la cámara de compresión u originado por una migración de refrigerante (Carter del compresor con refrigerante líquido).



Imagen 87

Rotura de bielas y pistones por incompresibilidad de líquido

Fuente: Curso "Compresores frigoríficos", ATECYR

18.3.2 Sobrecalentamiento elevado

La magnitud del problema está directamente relacionada con las características constructivas del compresor, específicamente el método de enfriamiento. Compresores herméticos dependen en mayor o menor medida su enfriamiento del refrigerante que proviene desde el evaporador por medio de la línea de aspiración, por lo cual, éste debe tener un valor de sobrecalentamiento que asegure un enfriamiento adecuado del motor eléctrico. Existen variadas causas del sobrecalentamiento elevado. Sin embargo, se pueden también dividir en dos grupos:

- Sobrecalentamiento elevado en la salida del evaporador por una alimentación defectuosa de refrigerante por medio de la válvula de expansión. El origen de esta condición es variado, desde a una carga de refrigerante deficiente, obstrucción en la entrada de la válvula, daño de la valvular de expansión, selección o ajuste incorrecto. En este caso el sobrecalentamiento elevado se manifiesta en conjunto a elevadas temperaturas de descarga y bajas presiones de aspiración
- Un aislamiento térmico deficiente y la temperatura del refrigerante menor a la del aire que rodea a la tubería de aspiración, aumentarían la ganancia de calor sensible y en consecuencia el aumento de sobrecalentamiento, incluso con un sobrecalentamiento adecuado en la salida del evaporador

Es importante enfatizar que el sobrecalentamiento elevado genera en ambos casos un aumento de temperatura interna del compresor. Esta condición en combinación con contaminantes como humedad, favorece reacciones químicas, acelerando procesos de acidificación y corrosión.

NOTA:

En aplicaciones de baja temperatura de evaporación, el sobrecalentamiento elevado lleva a aumentos importantes de la temperatura de descarga, lo que puede llevar a la descomposición y quemado del aceite si se supera la temperatura límite del aceite. Por esta razón, en esa aplicación puede ser recomendable dotar al compresor de un sensor de temperatura de descarga como medida adicional de seguridad.

18.3.3 Falla de lubricación

Sus consecuencias son principalmente son el atascamiento, piezas quebradas y pérdida de rendimiento. Dos escenarios se pueden presentar para resultar en esta falla:

- No existe aceite en el cárter del compresor: Resultante de un retorno de aceite insuficiente, causado por una baja velocidad de refrigerante y/o la disposición incorrecta de las tuberías principalmente la aspiración. La baja velocidad de refrigerante proviene de un diámetro incorrecto, específicamente uno sobredimensionado. Destacando que este problema se puede presentar con un correcto diámetro de tubería, pero con presiones de operación menores a las consideradas en diseño, como en el caso de un sistema con carga de refrigerante insuficiente. Relacionado con esto último, una carga de refrigerante insuficiente podría provenir de una fuga, en este caso además de perder refrigerante el sistema, existe una pérdida de aceite. Además, la obstrucción de filtros de aspiración o cualquier anomalía en los componentes involucrados en el retorno de aceite al compresor, provocan este problema.

ADVERTENCIA:

Aunque exista un diámetro correcto de tuberías, disposición correcta del tendido, presiones acordes al diseño y carga de refrigerante adecuada, los ciclos cortos de partida y detención del compresor, producto de fallas en el sistema de control (Ejemplo: Incorrecto ajuste o falla de un presostato de baja presión) crearan un desequilibrio entre el aceite que sale del compresor y el que retorna por al cárter por la línea de aspiración.

- Existe aceite en el cárter, pero ausencia o deficiente lubricación: Principalmente este escenario se presenta por la obstrucción del filtro o daño de la bomba de aceite en compresores por lubricación forzada o la dilución de aceite por retorno de líquido o migración de refrigerante

18.3.4 Migración de refrigerante

Para que exista una migración de refrigerante, el compresor debe estar detenido a diferencia de un retorno de líquido que se produce cuando el compresor está funcionando. La migración de refrigerante produce que el aceite se mezcle con el refrigerante en estado líquido en el cárter del compresor, la mezcla más rica en refrigerante tiene una mayor densidad, depositándose en la parte inferior del compresor, la mezcla menos rica en refrigerante se sitúa en la parte media del cárter y el aceite aun no mezclado en la parte superior. Una vez que el compresor arranca se produce una reducción súbita de presión el cárter del compresor, el refrigerante en estado líquido comienza a ebullición generando espuma, reduciendo drásticamente las propiedades lubricantes del aceite, resultando en un desgaste irregular o incluso atascamiento, debido al ingreso de la mezcla a los canales de lubricación del compresor. Además, podría existir un golpe de líquido si la cantidad de refrigerante existente en el cárter del compresor es lo suficientemente alta para ingresar a la cámara de compresión. Existen dos principales causas para que exista la migración:

- Cuando el compresor tiene una menor temperatura que el evaporador, el refrigerante contenido en este último, viaja al compresor condensándose en el cárter, produciéndose la mezcla mencionada anteriormente. El calefactor de cárter y la configuración "Pump Down" reduce en gran medida este problema, siempre y cuando exista un correcto ajuste de los dispositivos de control involucrados
- En el caso de existir un condensador remoto (sobre el nivel del compresor) se debe instalar un contra sifón en su entrada y una válvula uniflujo a la salida del separador de aceite. Al no disponer de lo indicado, en periodos de detención del compresor, el refrigerante condensado caerá al separador de aceite, produciendo la subida de su flotador interno, resultando en la comunicación del separador y el cárter, produciendo por diferencia de presión la migración.

18.3.5 Altas temperaturas de descarga

Usualmente se relaciona la elevada temperatura de descarga con un aumento en la presión de condensación, lo cual es correcto. Sin embargo, bajas presiones de aspiración y sobrecalentamiento elevado en la aspiración del compresor también generan altas temperaturas de descarga, incluso en presencia de una disminución de la presión de descarga. La disminución de la viscosidad del aceite y la diferencia de los coeficientes de dilatación de los metales que constituyen el compresor, producen que las altas temperaturas puedan generar fricción entre las piezas e incluso el atascamiento. Además, si la temperatura es suficientemente elevada (genéricamente mayor a 125°C aprox.) comienza la carbonización del aceite, el cual genera depósitos en los platos de válvulas, restando rendimiento mecánico.

Imagen 88

Aceite carbonizado en válvulas de aspiración y descarga

Fuente: Curso "Compresores frigoríficos", ATECYR



18.3.6 Problemas eléctricos

Un problema eléctrico no siempre tiene origen en la disposición incorrecta de los suministros eléctricos (tensión y frecuencia). Existe una serie de causas que originan la quema de un motor, donde incluso para evitar el problema, debieran haber actuado las protecciones, muchas veces no operativas, inexistentes o mal ajustadas.

La quema del motor puede ser clasificada en una quema total o parcial. Cuando el requerimiento físico del compresor exceda lo normal, producto de un atascamiento o la deficiencia del suministro eléctrico (baja tensión), se producirá una sobrecarga homogénea del motor, llegándolo a quemar en el caso de no actuar la correspondiente protección (relé térmico o guardamotor). Otra causa de la quema total corresponde a la ausencia del enfriamiento del motor, producto de la falla de presostatos de baja presión o contactor, el compresor funcionara de forma directa incluso con la válvula solenoide de la línea de líquido cerrada, aumentando la temperatura del bobinado llegando a la quema. Destacando nuevamente, que en este caso, debiera haber actuado la protección por altas temperaturas de bobinado. La principal causa de una quema parcial corresponde a la caída de una fase en el caso de motores trifásicos, sobrecargando las otras dos bobinas llegando a quemarlas o en el caso de motores monofásicos la falla del relé de arranque produce la quema de la bobina de trabajo.



Imagen 89

Bobinado de motor dañado por sobreconsumo de corriente

Fuente: Curso "Compresores frigoríficos", ATECYR

18.3.7 Contaminación

La contaminación de un sistema principalmente tiene como origen la realización de procedimientos técnicos incorrectos en el armado, instalación, puesta en marcha y mantención de un sistema. Los principales contaminantes son:

- Humedad.
- Gases no condensables.
- Sólidos.

Estos contaminantes usualmente se encuentran combinados y resultan en diversos subproductos, donde lamentablemente muchas veces los problemas no se manifiestan inmediatamente, asumiendo el éxito del procedimiento.

18.3.7.1 Humedad

La contaminación por humedad es originada principalmente por:

- Incorrecta ejecución de vacío
- Tuberías internamente contaminadas
- No utilizar flujo de nitrógeno en procesos de soldadura
- Utilización de refrigerante y/o aceite contaminado
- Fisuras en el sector de baja presión del sistema y presión menor a la atmosférica
- Falla de un intercambiador refrigerante-agua (Ejemplo: Enfriador de agua)



Imagen 90

Compresor contaminado con alto contenido de humedad

Fuente: Elaboración propia

ADVERTENCIA:

Es importante aplicar buenas prácticas en cada proceso, utilizar refrigerantes que cuenten con certificación de calidad y considerar que los aceites sintéticos POE tienen un alto grado de higroscopicidad.

La presencia de bajas concentraciones de humedad dentro del sistema no varía significativamente las magnitudes de funcionamiento (presión y temperatura). Más bien, provocan un daño asintomático a simple vista, pero que tiene como resultado final el deterioro del compresor y una contaminación interna generalizada. Los problemas derivados de la presencia de humedad son diversos. Tales como:

- **Obstrucción del dispositivo de expansión:**

La humedad se solidifica en el dispositivo de expansión, generando obstrucciones parciales o totales al flujo de refrigerante. En un sistema de refrigeración en configuración "Pump Down", la obstrucción del dispositivo de expansión provocará una baja de presión en la aspiración del compresor, la cual puede alcanzar incluso el valor de presión ajustado como desconexión del compresor en el presostato de baja presión. Posteriormente, debido a la detención del compresor (tiempo indeterminado) y aporte natural de calor al dispositivo de expansión, se elimina la obstrucción interna por hielo y en consecuencia, nuevamente el ingreso de refrigerante al evaporador, incrementando la presión de aspiración del compresor hasta su energización por parte del presostato. El funcionamiento es intermitente y usualmente, la detención del compresor se produce cuando el prestador técnico de servicio no está presente. Además, es posible la generación de cortocircuitos internos en la placa de conexión eléctrica o la carbonización de los terminales, produciendo una quema parcial del motor.

- **Ácidos:**

El aceite POE (utilizado con refrigerantes HFC) en presencia de humedad, se transforma en ácidos orgánicos y alcoholes. Además, aun cuando los refrigerantes tienen una elevada estabilidad química, en presencia de humedad, altas temperaturas y materiales catalizadores, se descomponen generando la formación de ácidos inorgánicos, como ácido clorhídrico (HCl) y ácido fluorhídrico (HF). Estos ácidos pueden atacar y destruir los barnices utilizados en el aislamiento del motor (compresores herméticos y semiherméticos), generando cortocircuitos y en consecuencia, la falla del compresor. Cuando se forman arcos eléctricos en el interior del compresor, la contaminación interna aumenta, debido a la formación de sólidos (carbonización del aceite) y de algunos derivados de los materiales internos del compresor.

- **Cobreado (Copper plating):**

La presencia de humedad en el interior del sistema, produce conductividad eléctrica que permite poner en contacto metales de diferente electronegatividad, como el cobre y el hierro. Debido a esto, el cobre es disuelto y se deposita en las superficies de hierro internas del compresor con altas temperaturas, como platos de válvula, bielas y cigüeñales. Esta deposición del cobre modifica las tolerancias mecánicas y tratamientos superficiales de las distintas piezas.

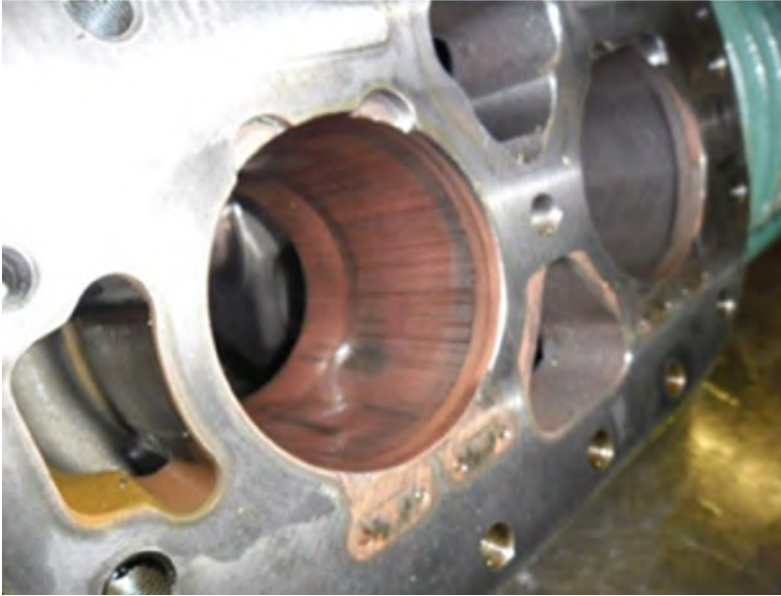


Imagen 91

**Cilindros encobrados,
derivados de la presencia
de humedad**

Fuente: Curso "Compresores
frigoríficos", ATECYR

18.3.7.2 Gases no condensables

Los gases no condensables (GNC), como su nombre indica, no son capaces de condensarse en las condiciones de presión y temperatura de funcionamiento de un sistema. Estos gases tienen puntos de ebullición bajos, comparados con cualquier condición práctica que pueda experimentar un sistema tradicional. La cantidad de gas no condensable que es perjudicial depende de las características constructivas del sistema. Algunos de los problemas asociados son los siguientes:

- Altas presiones y temperaturas de descarga
- Aumento de intensidad de corriente en el compresor

Una alta presión no significa automáticamente la presencia de gases no condensables, debido a que también existen otras causas potenciales de alta presión, tales como:

- Reducción del flujo de aire en el condensador
- Condensador sucio
- Retorno de aire caliente
- Sobrecarga de refrigerante
- Error de diseño (condensador subdimensionado)

Imagen 92

Aceite carbonizado en el plato de válvulas derivado de la presencia de gases no condensables

Fuente: Elaboración propia



NOTA:

El método para diagnosticar la presencia de gases no condensables consiste en medir la temperatura del líquido a la salida de condensador y la presión de alta del sistema. Si la temperatura saturada correspondiente a la presión de alta del sistema comparada con la temperatura del líquido a la salida del condensador (medida) refleja un nivel muy elevado de subenfriamiento, no es un subenfriamiento real, es el indicio resultante de presencia de gases no condensables.

Imagen 93

Compresor contaminado con lodo derivado de la suciedad del sistema

Fuente: Elaboración propia



18.3.7.3 Sólidos

Los principales contaminantes sólidos corresponden a óxido de cobre, polvo y limadura de cobre. Originados por realizar soldadura sin flujo de nitrógeno interno, tuberías contaminadas en la instalación y corte de tuberías con la herramienta incorrecta. La contaminación de un sistema por sólidos tiene múltiples síntomas, que están directamente relacionados con la parte del sistema donde se encuentran. Aunque se destaca de forma genérica su contribución a la disminución en las propiedades lubricantes del aceite y todas las consecuencias relacionadas con ello (desgaste progresivo e irreversible), la obstrucción de filtros y válvulas, provocando entre otros, una disminución de la presión de aspiración del compresor.

18.4 CONSIDERACIONES PARA SELECCIONAR UN REEMPLAZO DE UN COMPRESOR HERMÉTICO ALTERNATIVO MONOFÁSICO DE POTENCIA FRACCIONARIA DAÑADO

El prestador técnico debe tener cuidado de seleccionar un compresor de reemplazo con las características correctas para el sistema. Si está disponible un compresor de reemplazo idéntico al compresor dañado, los potenciales problemas se reducen. Sin embargo, se debe identificar la raíz del problema que produjo la falla del compresor original.

En muchas oportunidades es imposible disponer de un compresor de reemplazo idéntico al compresor dañado, en este caso el prestador técnico de servicio debe considerar diferentes criterios para seleccionar el compresor adecuado. Tales como:

- **Suministro eléctrico:** Debe ser acorde a la tensión (Volt) y frecuencia (Hz) del suministro eléctrico.
- **Aplicación:** Alta, media o baja temperatura de evaporación, incluso combinaciones.
- **Capacidad de enfriamiento:** Como criterio principal, debe tener una capacidad frigorífica (W) similar al compresor dañado. Secundariamente, y en el caso de no contar con información sobre la capacidad frigorífica, se puede utilizar como referencia el desplazamiento del compresor.
- **Par de arranque:** Para sistemas que disponen de tubo capilar como dispositivo de expansión y ecualización de presiones durante los períodos de parada, un compresor LST (bajo par de arranque) se puede utilizar, y para sistemas con válvula de expansión o sin ecualización de presión, compresor HST (alto par de arranque) debe ser elegido. Destacando que un compresor HST también se puede usar en un sistema de tubo capilar.
- **Refrigerante:** Debe estar aprobado para el refrigerante que utiliza el sistema.

18.5 DESIGNACIÓN DE LOS REFRIGERANTES PUROS, MEZCLAS ZEOTRÓPICAS (SERIE 400) Y MEZCLAS AZEOTRÓPICAS (SERIE 500).

Tabla 21: Designación de refrigerantes puros

Número del refrigerante	Nombre químico ^b	Fórmula química	Grupo de seguridad	Límite práctico	ATEL/ODL ^f	Inflamabilidad LFL ^g	Densidad de vapor 25°C, 101,3 kPa ^a	Masa molecular relativa ^a	Punto normal de ebullición ^a	PAO ^{a d}	PCG ^{a e j}	Temperatura de Autoignición
				kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³		°C			°C
Serie de metanos												
11	Triclorofluorometano	CCl ₃ F	A1	0,3	0,006 2	NF	5,62	137,4	24	1	4 750	ND
12	Diclorodifluorometano	CCl ₂ F ₂	A1	0,5	0,088	NF	4,94	120,9	-30	1	10 900	ND
12B1	Bromoclorodifluorometano	CBrClF ₂	ND	0,2	ND	NF	6,76	165,4	-4	3	1 890	ND
13	Clorotrifluorometano	CClF ₃	A1	0,5	ND	NF	4,27	104,5	-81	1	14 400	ND
13B1	Bromotrifluorometano	CBrF ₃	A1	0,6	ND	NF	6,09	148,9	-58	10	7 140	ND
14	Tetra fluoruro de carbono	CF ₄	A1	0,4	0,40	NF	3,60	88,0	-128	0	7 390	ND
22	Clorodifluorometano	CHClF ₂	A1	0,3	0,21	NF	3,54	86,5	-41	0,055	1 810	635
23	Trifluorometano	CHF ₃	A1	0,68	0,15	NF	2,86	70,0	-82	0	14 800	765
30	Diclorometano (cloruro de metileno)	CH ₂ Cl ₂	B1	0,017	ND	NF	3,47	84,9	40	ND	8,7	662
32	Difluorometano (fluoruro de metileno)	CH ₂ F ₂	A2L	0,061	0,30	0,307	2,13	52,0	-52	0	675	648
50	Metano	CH ₄	A3	0,006	ND	0,032	0,654	16,0	-161	0	25	645

Número del refrigerante	Nombrequímico ^b	Fórmula química	Grupo de seguridad	Limite práctico	ATEL/ODL ^f	Inflamabilidad LFL ^g	Densidad de vapor 25°C, 101,3 kPa ^a	Masa molecular relativa ^a	Punto normal de ebullición ^a	PAO ^{a d}	PCG ^{a e j}	Temperatura de Autoignición
				kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	°C			°C	
Serie de etanos												
113	1,1,2-tricloro-1,2,2-trifluoroetano	CCl ₂ FCClF ₂	A1	0,4	0,02	NF	7,66	187,4	48	0,8	6 130	ND
114	1,2-dicloro-1,1,2,2-tetrafluoroetano	CClF ₂ CClF ₂	A1	0,7	0,14	NF	6,99	170,9	4	1	10 000	ND
115	Cloropentafluoroetano	CClF ₂ CF ₃	A1	0,76	0,76	NF	6,32	154,5	-39	0,6	7 370	ND
116	Hexafluoroetano	CF ₃ CF ₃	A1	0,68	0,68	NF	5,64	138,0	-78	0	12 200	ND
123	2,2-dicloro-1,1,1-trifluoroetano	CHCl ₂ CF ₃	B1	0,10	0,057	NF	6,25	152,9	27	0,02	77	730
124	2-cloro-1,1,1,2-tetrafluoroetano	CHClCF ₃	A1	0,11	0,056	NF	5,58	136,5	-12	0,022	609	ND
125	Pentafluoroetano	CHF ₂ CF ₃	A1	0,39	0,37	NF	4,91	120,0	-49	0	3 500	733
134a	1,1,1,2-tetrafluoroetano	CH ₂ FCF ₃	A1	0,25	0,21	NF	4,17	102,0	-26	0	1 430	743
141b	1,1-dicloro-1-fluoroetano	CH ₂ CCl ₂ F	ND	0,053	0,012	0,363	4,78	116,9	32	0,11	725	532
142b	1-cloro-1,1-difluoroetano	CH ₂ CClF ₂	A2	0,049	0,10	0,329	4,11	100,5	-10	0,065	2 310	750
143a	1,1,1-trifluoroetano	CH ₃ CF ₃	A2L	0,048	0,48	0,282	3,44	84,0	-47	0	4 470	750
152a	1,1-difluoroetano	CH ₃ CHF ₂	A2	0,027	0,14	0,130	2,70	66,0	-25	0	124	455
170	Etano	CH ₃ CH ₃	A3	0,008 6	0,008 6	0,038	1,23	30,1	-89	0	5,5	515
1150	Eteno (etileno)	CH ₂ = CH ₂	A3	0,006	ND	0,036	1,15	28,1	-104	0	3,7	ND
E170	Éter dimetilico	CH ₃ OCH ₃	A3	0,013	0,079	0,064	1,88	46	-25	0	1	235

Número del refrigerante	Nombre Químico ^b	Fórmula química	Grupo de seguridad	Límite Práctico	ATEL/ODL ^f	Inflamabilidad LFL ^g	Densidad de vapor 25°C, 101,3 kPa ^a	Masa molecular relativa ^a	Punto normal de ebullición ^a	PAO ^{a d}	PCG ^{a e j}	Temperatura de Autoignición
				kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³		°C			°C
Serie de propanos												
218	Octafluoropropano	CF ₃ CF ₂ CF ₃	A1	1,84	0,85	NF	7,69	188,0	-37	0	8 830	ND
227ea	1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropano	CF ₃ CHFCF ₃	A1	0,63	0,63	NF	6,95	170,0	-15	0	3 220	ND
236fa	1,1,1,3,3,3-hexafluoropropano	CF ₃ CH ₂ CF ₃	A1	0,59	0,34	NF	6,22	152,0	-1	0	9 810	ND
245fa	1,1,1,3,3-pentafluoropropano	CF ₃ CH ₂ CHF ₂	B1	0,19	0,19	NF	5,48	134,0	15	0	1 030	ND
290	Propano	CH ₃ CH ₂ CH ₃	A3	0,008	0,09	0,038	1,80	44,1	-42	0	3,3	470
1234yf	2,3,3,3-tetrafluoroprop-1-eno	CF ₃ CF = CH ₂	A2L	0,058	0,47	0,289	4,66	114,0	-26	0	4 ⁱ	405
1234ze(E)	trans-1,3,3,3-tetrafluoroprop-1-eno	CF ₃ CH = CFH	A2L	0,061	0,28	0,303	4,66	114,0	-19	0	7 ⁱ	368
1270	Propeno (propileno)	CH ₃ CH = CH ₂	A3	0,008	0,001 7	0,046	1,72	42,1	-48	0	1,8	455
Otros hidrocarburos												
600	Butano	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃	A3	0,008 9	0,002 4	0,038	2,38	58,1	0	0	4,0	365
600a	2-metil propano (isobutano)	CH(CH ₃) ₂ CH ₃	A3	0,011	0,059	0,043	2,38	58,1	-12	0	-20 ^h	460
601	Pentano	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₃	A3	0,008	0,0029	0,035	2,95	72,1	36	0	-20 ^h	ND
601a	2-metil butano (isopentano)	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ CH ₃	A3	0,008	0,0029	0,038	2,95	72,1	27	0	-20 ^h	ND

Número del Refrigerante	Nombre Químico ^b	Fórmula química	Grupo de seguridad	Límite Práctico	ATEL/ODL ^f	Inflamabilidad LFL ^g	Densidad de vapor 25°C, 101,3 kPa ^a	Masa molecular relativa ^a	Punto normal de ebullición ^a	PAO ^{a d}	PCG ^{a e j}	Temperatura de Autoignición
				kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³		°C			°C
Compuestos orgánicos cíclicos												
C318	Octafluorociclobutano	-(CF ₂) ₄ -	A1	0,81	0,65	NF	8,18	200,0	-6	0	10 300	ND
Compuestos inorgánicos												
717	Amoniaco	NH ₃	B2L	0,000 35	0,000 22	0,116	0,700	17,0	-33	0	<1 ^h	630
744	Dióxido de carbono	CO ₂	A1	0,1	0,072	NF	1,80	44,0	-78 ^c	0	1	NA

NOTA 1: Véase Tabla 20 y Tabla 21 para mezclas zeotrópicas y zeotrópicas.

NOTA 2: NA quiere decir no aplicable.

NOTA 3: ND quiere decir sin determinar.

NOTA 4: NF quiere decir no inflamable.

- a. La densidad de vapor, el punto normal de ebullición, PAO y PCG se proporcionan con propósitos informativos.
- b. El nombre químico de preferencia está seguido por el nombre popular en paréntesis.
- c. Sublimados. El punto triple es -56,6 °C a 5,2 bar.
- d. Adoptado bajo el Protocolo de Montreal.
- e. Información tomada del 4º informe de evaluación del IPCC de 2007. Si no se encuentra disponible, se utilizará con mayor prioridad la Evaluación científica de agotamiento de la capa de ozono de la WMO de 2010 y luego el informe PNUMA RTOC 2010.
- f. Límite de Exposición de Toxicidad Aguda o Límite de Privación de Oxígeno, cual sea más bajo, valores tomados de la norma ISO 817.
- g. Límite Inferior de Inflamabilidad.
- h. Información del informe PNUMA RTOC 2010.
- i. Información de la evaluación científica de agotamiento de la capa de ozono de la WMO de 2010.
- j. Periodo de integración 100 años.

Tabla 22: Designación de refrigerantes mezclas zeotrópica

Número del Refrigerante	Composición ^c % de masa	Tolerancias de composición	Grupo de seguridad	Límite práctico ^d	ATEL/ ODL ^e	Inflamabilidad LFL ^h	Densidad de vapor 25 °C, 101,3 kPa ^a	Masa molecular relativa ^a	Punto de burbuja/ punto de condensación ^a a 101,3 kPa	PAO a e	PCG a f i	Temperatura de Autoignición
		%		kg/m ³								kg/m ³
401A	R-22/152a/124 (53/13/34)	±2/+0,5 -1,5/±1	A1/A1	0,30	0,10	NF	3,86	94,4	-33,4/-27,8	0,037	1 180	681
401B	R-22/152a/124 (61/11/28)	±2/+0,5 -1,5/±1	A1/A1	0,34	0,11	NF	3,80	92,8	-34,9/-29,6	0,04	1 290	685
401C	R-22/152a/124 (33/15/52)	±2/+0,5 -1,5/±1	A1/A1	0,24	0,083	NF	4,13	101,0	-28,9/-23,3	0,03	933	ND
402A	R-125/290/22 (60/2/38)	±2/+0,1 -1,0/±2	A1/A1	0,33	0,27	NF	4,16	101,6	-49,2/-47,0	0,021	2 790	723
402B	R-125/290/22 (38/2/60)	±2/+0,1 -1,0/±2	A1/A1	0,32	0,24	NF	3,87	94,7	-47,2/-44,8	0,033	2 420	641
403A	R-290/22/218 (5/75/20)	+0,2 -2,0/±2/±2	A1/A2	0,33	0,24	0,480	3,76	92,0	-44,0/-42,4	0,041	3 120	ND
403B	R-290/22/218 (5/56/39)	+0,2 -2,0/±2/±2	A1/A1	0,41	0,29	NF	4,22	103,3	-43,9/-42,4	0,031	4 460	ND
404A	R-125/143a/134a (44/52/4)	±2/±1/±2	A1/A1	0,52	0,52	NF	3,99	97,6	-46,5/-45,7	0	3 920	728
405A	R-22/152a/142b/C318 (45/7/5,5/42,5)	±2/±1/±1/±2 ^b	ND	ND	0,26	ND	4,58	111,9	-32,8/-24,4	0,028	5 330	ND
406A	R-22/600a/142b (55/4/41)	±2/±1/±1	A2/A2	0,13	0,14	0,302	3,68	899	-32,7/-23,5	0,057	1 940	ND
407A	R-32/125/134a (20/40/40)	±2/±2/±2	A1/A1	0,33	0,31	NF	3,68	90,1	-45,2/-38,7	0	2 110	685
407B	R-32/125/134a (10/70/20)	±2/±2/±2	A1/A1	0,35	0,33	NF	4,21	102,9	-46,8/-42,4	0	2 800	703
407C	R-32/125/134a (23/25/52)	±2/±2/±2	A1/A1	0,31	0,29	NF	3,53	86,2	-43,8/-36,7	0	1 770	704
407D	R-32/125/134a (15/15/70)	±2/±2/±2	A1/A1	0,41	0,25	NF	3,72	91,0	-39,4/-32,7	0	1 630	ND
407E	R-32/125/134a (25/15/60)	±2/±2/±2	A1/A1	0,40	0,27	NF	3,43	83,8	-42,8/-35,6	0	1 550	ND
407F	R-32/125/134a (30/30/40)	±2/±2/±2	A1/A1	0,32	0,32	NF	3,36	82,1	-46,1/-39,7	0	1 820	ND
408A	R-125/143a/22 (7/46/47)	±2/±1/±2	A1/A1	0,41	0,33	NF	3,56	87,0	-44,6/-44,1	0,026	3 150	ND
409A	R-22/124/142b (60/25/15)	±2/±2/±1	A1/A1	0,16	0,12	NF	3,98	97,4	-34,7/-26,3	0,048	1 580	ND
409B	R-22/124/142b (65/25/10)	±2/±2/±1	A1/A1	0,17	0,12	NF	3,95	96,7	-35,8/-28,2	0,048	1 560	ND
410A	R-32/125 (50/50)	+0,5 -1,5/+1,5-0,5	A1/A1	0,44	0,42	NF	2,97	72,6	-51,6/-51,5	0	2 090	ND
410B	R-32/125 (45/55)	±1/±1	A1/A1	0,43	0,43	NF	3,09	75,6	-51,5/-51,4	0	2 230	ND
411A	R-1270/22/152a (1,5/87,5/11,0)	+0,-1/+2-0/+0-1	A1/A2	0,04	0,074	0,186	3,37	82,4	-39,6/-37,1	0,048	1 600	ND
411B	R-1270/22/152a (3/94/3)	+0,-1/+2-0/+0-1	A1/A2	0,05	0,044	0,239	3,40	83,1	-41,6/-40,2	0,052	1 710	ND
412A	R-22/218/142b (70/5/25)	±2/±2/±1	A1/A2	0,07	0,17	0,329	3,77	92,2	-36,5/-28,9	0,055	2 290	ND
413A	R-218/134a/600a (9/88/3)	±1/±2/+0 -1	A1/A2	0,08	0,21	0,375	4,25	104,0	-29,4/-27,4	0	2 050	ND

Nº Número del Refrigerante	Composición ^c % de masa	Tolerancias de composición	Grupo de seguridad	Límite práctico ^d	ATEL/ ODL ^g	Inflamabilidad LFL ^h	Densidad de vapor 25 °C, 101,3 kPa ^a	Masa molecular relativa ^a	Punto de burbuja/ punto de condensación ³ a 101,3 kPa	PAO a e	PCG a f i	Temperatura de Autoignición
		%		kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³		°C			°C
414A	R-22/124/600a/142b (51,0/28,5/4,0/16,5)	±2/±2/+0,5/+0,5-1,0	A1/A1	0,10	0,10	NF	3,96	96,9	-33,2/-24,7	0,045	1 480	ND
414B	R-22/124/600a/142b (50,0/39,0/1,5/9,5)	±2/±2/+0,5/+0,5-1,0	A1/A1	0,096	0,096	NF	4,16	101,6	-33,1/-24,7	0,042	1 360	ND
415A	R-22/152a (82/18)	±1/±1	A2	0,04	0,19	0,188	3,35	81,9	-37,5/-34,7	0,028	1 510	ND
415B	R-22/152a (25,0/75,0)	±1/±1	A2	0,03	0,15	0,13	2,87	70,2	-23,4/-21,8	0,009	546	ND
416A	R-134a/124/600 (59,0/39,5/1,5)	+0,5-1,0/+1,0 -0,5/+0,1-0,2	A1/A1	0,064	0,064	NF	4,58	111,9	-23,4/-2,8	0,009	1 080	ND
417A	R-125/134a/600 (46,6/50,0/3,4)	±1,1/±1,0/+0,1-0,4	A1/A1	0,15	0,057	NF	4,36	106,7	-38,0/-32,9	0	2 350	ND
417B	R-125/134a/600 (79,0/18,3/2,7)	±1,0/±1,0/+0,1-0,5	A1/A1	0,069	0,069	NF	4,63	113,1	-44,9/-41,5	0	3 030	ND
418A	R-290/22/152a (1,5/96,0/2,5)	±0,5/±1/+0,5	A1/A2	0,06	0,20	0,31	3,46	84,6	-41,7/-40,0	0,033	1 740	ND
419A	R-125/134a/E170 (77/19/4)	±1/±1/±1	A1/A2	0,05	0,31	0,25	4,47	109,3	-42,6/-36,0	0	2 970	ND
420A	R-134a/142b (88/12)	+1-0/0-1	A1/A1	0,18	0,18	NF	4,16	101,8	-24,9/-24,2	0,005	1 540	ND
421A	R-125/134a (58,0/42,0)	±1,0/±1,0	A1/A1	0,28	0,28	NF	4,57	111,7	-40,8/-35,5	0	2 630	ND
421B	R-125/134a (85,0/15,0)	±1,0/±1,0	A1/A1	0,33	0,33	NF	4,78	116,9	-45,7/-42,6	0	3 190	ND
422A	R-125/134a/600a (85,1/11,5/3,4)	±1,0/±1,0/+0,1-0,4	A1/A1	0,29	0,29	NF	4,65	113,6	-46,5/-44,1	0	3 140	ND
422B	R-125/134a/600a (55,0/42,0/3,0)	±1,0/±1,0/+0,1-0,5	A1/A1	0,25	0,25	NF	4,44	108,5	-40,5/-35,6	0	2 530	ND
422C	R-125/134a/600a (82,0/15,0/3,0)	±1,0/±1,0/+0,1-0,5	A1/A1	0,29	0,29	NF	4,64	113,4	-45,3/-42,3	0	3 090	ND
422D	R-125/134a/600a (65,1/31,5/3,4)	+0,9- 1,1/±1,0/+0,1-0,4	A1/A1	0,26	0,26	NF	4,49	109,9	-43,2/-38,4	0	2 730	ND
423A	R-134a/227ea (52,5/47,5)	±1,0/±1,0	A1/A1	0,30	0,30	NF	5,15	126,0	-24,2/-23,5	0	2 280	ND
424A	R-125/134a/600a/600/601a (50,5/47,0/0,9/1,0/0,6)	±1,0/±1,0/+0,1-0,2/ +0,1-0,2/+0,1-0,2	A1/A1	0,10	0,10	NF	4,43	108,4	-39,1/-33,3	0	2 440	ND
425A	R-32/134a/227ea (18,5/69,5/12,0)	±0,5/±0,5/±0,5	A1/A1	0,27	0,27	NF	3,69	90,3	-38,1/-31,3	0	1 510	ND

Número del Refrigerante	Composición ^c % de masa	Tolerancias de composición	Grupo de seguridad	Límite práctico ^d	ATEL/ ODLG	Inflamabilidad LFLh	Densidad de vapor 25 °C, 101,3 kPa ^a	Masa molecular relativa ^a	Punto de burbuja/ punto de condensación ^a a 101,3 kPa	PAO a e	PCG a f i	Temperatura de Autoignición
		%		kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	°C			°C	
426A	R-125/134a/600/601a (5,1/93,0/1,3/0,6)	±1,0/±1,0/+0,1-0,2/ +0,1-0,2	A1/A1	0,083	0,083	NF	4,16	101,6	-28,5/-26,7	0	1 510	ND
427A	R-32/125/143a/134a (15,0/25,0/10,0/50,0)	±2,0/±2,0/±2,0/±2,0	A1/A1	0,29	0,29	NF	3,70	90,4	-43,0/-36,3	0	2 140	ND
428A	R-125/143a/290/600a (77,5/20,0/0,6/1,9)	±1,0/±1,0/+0,1-0,2/ +0,1-0,2	A1/A1	0,37	0,37	NF	4,40	107,5	-48,3/-47,5	0	3 610	ND
429A	R-E170/152a/600a (60,0/10,0/30,0)	±1,0/±1,0/±1,0	A3/A3	0,010	0,098	0,052	2,08	50,8	-26,0/-25,6	0	19	ND
430A	R-152a/600a (76,0/24,0)	±1,0/±1,0	A3/A3	0,017	0,10	0,084	2,61	63,9	-27,6/-27,4	0	99	ND
431A	R-290/152a (71,0/29,0)	±1,0/±1,0	A3/A3	0,009	0,10	0,044	2,00	48,8	-43,1/-43,1	0	38	ND
432A	R-1270/E170 (80,0/20,0)	±1,0/±1,0	A3/A3	0,008	0,002 1	0,039	1,75	42,8	-46,6/-45,6	0	2	ND
433A	R-1270/290 (30,0/70,0)	±1,0/±1,0	A3/A3	0,007	0,005 5	0,036	1,78	43,5	-44,6/-44,2	0	3	ND
433B	R-1270/290 (5,0/95,0)	±1,0/±1,0	A3/A3	0,005	0,025	0,025	1,80	44,0	-42,7/-42,5	0	3	ND
433C	R-1270/290 (25,0/75,0)	±1,0/±1,0	A3/A3	0,006	0,006 6	0,032	1,78	43,6	-44,3/-43,9	0	3	ND
434A	R-125/143a/134a/600a (63,2/18,0/16,0/2,8)	±1,0/±1,0/±1,0/+0,1-0,2	A1/A1	0,32	0,32	NF	4,32	105,7	-45,0/-42,3	0	3 250	ND
435A	R-E170/152a (80,0/20,0)	±1,0/±1,0	A3/A3	0,014	0,09	0,069	2,00	49,0	-26,1/-25,9	0	26	ND
436A	R-290/600a (56,0/44,0)	±1,0/±1,0	A3/A3	0,006	0,073	0,032	2,02	49,3	-34,3/-26,2	0	11	ND
436B	R-290/600a (52,0/48,0)	±1,0/±1,0	A3/A3	0,007	0,071	0,033	2,00	49,9	-33,4/-25,0	0	11	ND
437A	R-125/134a/600/601 (19,5/78,5/1,4/0,6)	+0,5-1,8/+1,5-0,7/ +0,1-0,2/+0,1-0,2	A1/A1	0,081	0,081	NF	4,24	103,7	-32,9/-29,2	0	1 810	ND

Número del Refrigerante	Composición ^c % de masa	Tolerancias de composición	Grupo de seguridad	Límite práctico ^d	ATEL/ ODLE	Inflamabilidad LFL ^h	Densidad de vapor 25 °C, 101,3 kPa ^a	Masa molecular relativa ^a	Punto de burbuja/ punto de condensación ^a a 101,3 kPa	PAO a e	PCG a f i	Temperatura de Autoignición
		%		kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	°C			°C	
438A	R-32/125/134a/600/601a (8,5/45,0/44,2/1,7/0,6)	+0,5-1,5/±1,5/±1,5/ +0,1-0,2/+0,1-0,2	A1/A1	0,079	0,079	NF	4,05	99,1	-43,0/-36,4	0	2 260	ND
439A	R-32/125/600a (50,0/47,0/3,0)	±1,0/±1,0/±0,5	A2/A2	0,061	0,34	0,304	2,91	71,2	-52,0/-51,8	0	1 980	ND
440A	R-290/134a/152a (0,6/1,6/97,8)	±0,1/±0,6/±0,5	A2/A2	0,025	0,14	0,124	2,71	66,2	-25,5/-24,3	0	144	ND
441A	R-170/290/600a/600 (3,1/54,8/6,0/36,1)	±0,3/±2,0/±0,6/±2,0	A3/A3	0,006 3	0,006 3	0,032	1,98	48,3	-41,9/-20,4	0	5	ND
442A	R-32/125/134a/152a/227ea (31,0/31,0/30,0/3,0/5,0)	±1,0/±1,0/±1,0/±0,5/±1,0	A1/A1	0,33	0,33	NF	3,35	81,8	-46,5/-52,7	0	1 890	ND

- a. El PAO, PCG, la densidad de vapor, el “punto de burbuja” y el “punto de rocío” se proporcionan solamente con propósitos informativos. La “temperatura del punto de burbuja” se define como la temperatura de saturación líquida de un refrigerante a la presión especificada, la temperatura a la cual un refrigerante líquido empieza a ebulir. El punto de burbuja de una mezcla zeotrópica de refrigerantes a presión constante es más bajo que el punto de rocío. La “temperatura del punto de rocío” se define como la temperatura de saturación de vapor de un refrigerante a la presión especificada, la temperatura a la cual ebulle la última gota de refrigerante líquido. El punto de rocío de una mezcla zeotrópica de refrigerantes a presión constante es mayor que el punto de burbuja.
- b. La suma de las tolerancias de composición para R-152a y R-142b debe estar entre 0 y -2 %.
- c. Los componentes de la mezcla generalmente se listan en orden ascendente respecto al punto normal de ebullición.
- d. El Límite práctico, se calcula a partir de los valores para los componentes individuales según se enumeran en la Tabla 21.
- e. El Potencial de Agotamiento de Ozono se calcula a partir de los valores para los componentes individuales según se enumeran en la Tabla 21.
- f. El Potencial de Calentamiento Global se calcula a partir de los valores para los componentes individuales según se enumeran en la Tabla 21.
- g. Límite de Exposición de Toxicidad Aguda o Límite de Privación de Oxígeno, cualquiera sea el menor.
- h. Límite Inferior de Inflamabilidad.
- i. Periodo de integración 100 años.

Tabla 23: Designación de refrigerantes mezclas azeotrópicas

Número del Refrigerante	Composición azeotrópica ^c % de masa	Tolerancias de Composición	Grupo de Seguridad	Límite Práctico	ATEL/ODL ^e	Inflamabilidad LFL ^f	Densidad de vapor 25 °C, 101,3 kPa ^a	Masa molecular relativa ^a	Punto normal de ebullición ^a	PAO ^{a g}	PCG ^{a d h}	Temperatura de Autoignición
		%		kg/m ³	kg/m ³		kg/m ³		kg/m ³			
500	R-12/152a (73,8/26,2)	+1,0 -0,0/+0,0 -1,0	A1/A1	0,4	0,12	NF	4,06	99,3	-33	0,74	8 080	ND
501	R-22/12 (75,0/25,0) ^b		A1/A1	0,38	0,21	NF	3,81	93,1	-41	0,29	4 080	ND
502	R-22/115 (48,8/51,2)		A1/A1	0,45	0,33	NF	4,56	111,6	-45	0,33	4 660	ND
503	R-23/13 (40,1/59,9)		A1/A1	0,35	ND	NF	3,58	87,5	-88	0,6	14 600	ND
504	R-32/115 (48,2/51,8)		A1/A1	0,45	0,45	NF	3,24	79,2	-57	0,31	4 140	ND
507A	R-125/143a (50/50)	+1,5 -0,5/+0,5 -1,5	A1/A1	0,53	0,53	NF	4,04	98,9	-46	0	3 990	ND
508A	R-23/116 (39/61)	+2,0/+2,0	A1/A1	0,23	0,23	NF	4,09	100,1	-86	0	13 200	ND
508B	R-23/116 (46/54)	+2,0/+2,0	A1/A1	0,25	0,2	NF	3,90	95,4	-88	0	13 400	ND
509A	R-22/218 (44/56)	+2,0/+2,0	A1/A1	0,56	0,38	NF	5,07	124,0	-47	0,024	5 740	ND
510A	R-E170/600a (88,0/12,0)	+0,5/+0,5	A3/A3	0,011	0,087	0,056	1,93	47,2	-25	0	3	ND
511A	R-290/E170 (95,0/5,0)	+1,0/+1,0	A3/A3	0,008	0,092	0,038	1,81	44,2	-42	0	3	ND
512A	R-134a/152a (5,0/95,0)	+1,0/+1,0	A2/A2	0,025	0,14	0,124	2,75	67,2	-24	0	189	ND

a. El PAO y el PCG, la densidad de vapor, la masa molecular y el punto normal de ebullición se proporcionan con fines informativos únicamente.

b. La composición exacta de este azeótropo se desconoce y se requieren estudios experimentales adicionales.

c. Los componentes de la mezcla generalmente se listan en orden ascendente respecto al punto normal de ebullición.

d. El Potencial de Calentamiento Global se calcula a partir de los valores para los componentes individuales según se enumeran en la Tabla 21.

e. Límite de Exposición de Toxicidad Aguda o Límite de Privación de Oxígeno, cualquiera sea el menor.

f. Límite Inferior de Inflamabilidad.

g. El Potencial de Agotamiento del Ozono se calcula a partir de los valores para los componentes individuales según se enumeran en la Tabla 21.

h. Periodo de integración 100 años.

.....
CAPÍTULO 19

BIBLIOGRAFÍA



- **ANSI/ASHRAE 15:2016**, Safety standard for refrigeration systems.
- **ASHRAE (2013)**. Refrigeration Commissioning Guide for Commercial and Industrial Systems. Descargado en junio del 2020, en la dirección: <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/refrigeration-commissioning-guide-free-download>
- **National Refrigerants, Inc (2001)**. What You Should Know About Refrigerant Safety. Recuperado de www.refrigerants.com
- **Bitzer Compressor**. Análisis de Irregularidades en Los Compresores Reciprocantes. Recuperado de www.bitzer.com.br
- **ISO 5149-1:2014**, Refrigerating systems and heat pumps – Safety and environmental requirements – Parts 1: Definitions, classification and selection criteria
- **ISO 817:2014**, Refrigerants – Designation and safety classification
- **National Refrigerants, Inc (2001)**. What You Should Know About Refrigerant Safety. Descargado en junio del 2020, en la dirección <https://m9v.7b6.myftpupload.com/wp-content/uploads/2020/01/Refrigerant-Safety.pdf>
- **Norma Chilena – NCh3241:2017**, Sistemas de refrigeración y climatización – Buenas prácticas para el diseño, armado, instalación y mantención. Instituto Nacional de Normalización (INN).
- **Real Decreto 138/2011**. Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas y sus instrucciones técnicas complementarias. Descargado en enero del 2017. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2011-4292>



ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL



Multilateral Fund
for the Implementation of the Montreal Protocol

